

Dottorato di Ricerca

XXV Ciclo

“Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico-ambientali”

Progetto di Ricerca

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Premesse

L’Organizzazione Mondiale della Sanità è da tempo che individua l’inquinamento atmosferico tra le maggiori cause di morte prematura ogni anno: le stime riportano cifre estremamente preoccupanti, con una media di circa 2 milioni di morti a livello mondiale ogni anno, con un picco pari a 3.200.000 unità nel corso del 2010. Nonostante più della metà di queste morti avviene nei Paesi in via di sviluppo, esiste un quadro molto preoccupante anche in molte delle grandi aree metropolitane del pianeta: in alcune di esse, infatti, i livelli medi annuali di PM_{10} (che deriva principalmente dalla combustione di materiali fossili e altri tipi di carburanti) eccedono di 70 microgrammi per metro cubo.

Questi dati sono quasi certamente sottostimati nella loro “negatività” in quanto gli effetti dell’inquinamento potrebbero non essere pienamente riscontrabili per molti anni, dato che alcune malattie, come i tumori al polmone, si sviluppano solo dopo un periodo di latenza relativamente lungo.

L’evidenza che l’inquinamento dell’aria sia causa di svariate patologie, *in primis* dei tumori del polmone, è circostanza scientificamente provata (vedi Rif.ti bibliografici alle pagg. 87, 88 e 89) . Tutti gli studi prospettici condotti negli Stati Uniti e in Europa hanno stimato rischi consistenti per il carcinoma polmonare in relazione alla esposizione a particolato fine. Gli stessi risultati sono stati ritrovati in studi caso-controllo. L’Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha stimato che ad ogni incremento di esposizione di $10 \mu g/m^3$ di particolato fine sia possibile associare un incremento di rischio compreso tra il 6 e l’8%. Benché il rischio per tumore polmonare sia basso se confrontato con il fumo attivo di tabacco, l’elevato numero di individui esposti a livelli elevati di particolato fa dell’inquinamento atmosferico un importante fattore etiologico per il tumore del polmone. Si può stimare che in un’area inquinata, una quota del 20% dei casi sia attribuibile a tale forma di inquinamento.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Nelle aree urbane la principale fonte di contaminazione sono i combustibili fossili immessi nell’aria sotto forma di gas di scarico. In essi sono contenute particelle di metalli (come Pb, As, Cr, Hg), gas (come ossidi di C, S, N), composti organici volatili (COV) e Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), tutti componenti dannosi per la salute; essi poi, più o meno rapidamente, tendono a concentrarsi negli strati atmosferici più bassi; alcuni di essi ricadono al suolo per gravità e vengono successivamente dilavati dalle acque meteoriche ed allontanati attraverso la rete fognaria (Albanese e Breward, 2011).

Nel corso del 20° secolo il piombo è stato tra gli elementi che maggiormente hanno contribuito alla contaminazione dell’ambiente urbano. Ciò è una diretta conseguenza della presenza dell’uso del piombo come pigmentante ed essiccante nelle vernici, della sua presenza come piombo tetraetile nelle benzine (Cicchella et al., 2008a) come additivo antidetonante (Filippelli et al., 2012)

L’area metropolitana di Napoli mostra dei suoli fortemente contaminati da Pb, Hg, Zn, Sb, e in misura minore da Cu, Cd, Cr e Ni. Lo studio su base isotopica evidenzia un mix tra due composizioni, una di evidente origine naturale (geogenica) e l’altra correlata alle attività umane (antropogenica). Le indagini isotopiche dimostrano che il traffico stradale è tra le principali fonti di inquinamento da metalli (Cicchella et al., 2008a).

L’introduzione delle marmitte catalitiche, per finalità ecologiche, anche se ha consentito una riduzione della immissione di piombo e di alcune tipologie di inquinanti (NO_x, CO, Idrocarburi, ecc.) a favore di altri meno pericolosi per la salute umana (CO₂, N₂ e H₂O) (Degobert, 1992 - Palacios et al., 2000), ha introdotto un’altra forma di inquinamento di particolare pericolosità, quella costituita dai Platinoidi (Platino, Palladio, Rodio), immessi in atmosfera sotto forma di particolato molto fine (in prevalenza PM_{2,5}) (Cicchella et al. 2003). Tali dimensioni, molto limitate, comportano la facile inalabilità e un facile attraversamento della barriera emato-encefalica. Gli studi sui Platinoidi, quasi tutti di recente esecuzione, iniziano a delineare con maggiore precisione e ad ampliare il ventaglio degli effetti indesiderati ad essi correlabili; quindi, in aggiunta agli effetti noti da tempo, quali asma, tosse, congiuntiviti, dermatiti, orticaria, dispnea, ecc. (Industrial Chemicals Safety Manual International, 1975), si aggiungono l’aumento dei parti prematuri, gli effetti sul feto (tali da portare, successivamente, allo sviluppo di disturbi di tipo neuro-comportamentale), e anche forme di infertilità maschile (Giaccio L. et al., 2012).

La categoria di maggiore incidenza nello sviluppo di forme tumorali è quella dei metalli pesanti, con un livello di correlazione evidente nell’intero territorio regionale della Campania ed in particolare nell’area metropolitana di Napoli (Albanese et al., 2008).

Nella città di Napoli, la situazione è particolarmente grave non solo a motivo del carico inquinante immesso in atmosfera dal parco veicoli circolante, mediamente più vetusto che in altre aree geografiche d’Italia, e dagli impianti termici nell’edilizia, ma anche per la coesistenza di numerosi fattori di criticità ambientale; infatti, è presente il macro-fattore inquinante “area portuale”, una estesa fascia che delimita a sud tutta la zona orientale di Napoli, da Piazza Municipio sino alla zona

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

di S. Giovanni /Barra, ove essa si concatena all’area industriale di Napoli Est. In alcuni casi i venti possono indurre una forma di “Effetto Pistone” ad asse orizzontale sulle masse d’aria, veicolando e concentrando gli inquinanti in alcune zone di Napoli a ridosso di rilievi collinari. Questo stesso fenomeno, associato a nodi stradali molto congestionati dal traffico, sembra poter essere all’origine dei valori estremamente elevati delle concentrazioni di Platinoidi nei suoli di Salerno, in particolare nella zona di Pastena (Fedele L. et al., 2008).

Sempre nella città di Napoli, è possibile individuare un’altra serie di criticità ambientali, poco note o comunque sottovalutate nella loro potenzialità di ingenerare conseguenze gravi sulla salute della popolazione residente: si pensi alle fibre di amianto, prodotte da fonti puntuali e diffuse (coperture, colonne pluviali, manufatti di vario genere), presenti in forma ubiquitaria sul territorio (patologia indotta: asbestosi), ai metalli pesanti in genere e a quanto correlabile alla presenza del vasto polo industriale dismesso dell’Italsider di Bagnoli (Albanese et al., 2010).

Tutti gli inquinanti sfruttano il mezzo aeriforme per raggiungere il nostro organismo: in altri termini, l’atmosfera sovrastante una qualsiasi area metropolitana concretizza una forma di “effetto sponda” che riproietta verso il basso (fascia più densamente abitata) quanto generato dalle attività produttrici di inquinamento.

In accordo con quanto sopra riportato, è possibile affermare che il carico inquinante immesso in atmosfera agisce in due diverse fasi successive:

- 1^a fase: contaminazione della componente ambientale “atmosfera”;
- 2^a fase: contaminazione delle superfici sul quale i composti ricadono per sedimentazione.

Le sostanze inquinanti presenti in atmosfera, infatti, con particolare riferimento a quelle allo stato solido corpuscolato, sono soggette a processi di sedimentazione, con velocità di caduta variabile in dipendenza dalle caratteristiche chimico-fisiche e geometriche. Il processo è condizionato dal regime fluidodinamico presente negli strati inferiori dell’atmosfera, quasi sempre di tipo turbolento: ciò rallenta il deposito al suolo ma, al tempo stesso, consente agli inquinanti di migrare in aree anche molto distanti dal luogo di produzione.

Gli inquinanti atmosferici che ricadono al suolo portano ad una contaminazione delle superfici esposte. Le superfici impermeabili vengono periodicamente dilavate dalle precipitazioni piovose, mentre nei suoli vegetali (aiuole, giardini, parchi) tali sostanze tendono ad accumularsi, in particolare negli strati superficiali, raggiungendo concentrazioni estremamente elevate e pericolose per coloro che ne vengono anche semplicemente a contatto (per esempio, i bambini che giocano sul prato di un parco urbano).

L’inquinamento atmosferico deve, quindi, essere considerato una priorità per la sanità pubblica: senza una azione drastica le vittime dell’inquinamento continueranno a costituire un importante carico di sofferenza per l’intera collettività.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Il presente lavoro di tesi intende focalizzare l’attenzione sul fenomeno dell’inquinamento atmosferico nell’area metropolitana di Napoli, onde poter trovare un legame tra l’evoluzione quantitativa dello stesso e l’andamento meteorologico, indagando non solo sui fattori a scala locale, ma coinvolgendo nelle analisi anche, e soprattutto, fattori a scala sinottica. L’obiettivo finale che si persegue è quello di un miglioramento della qualità di previsione dei livelli di inquinamento atmosferico, a breve (2-3 giorni) e a medio termine (5-6 giorni).

L’indirizzo di ricerca sopra delineato poggia le sue basi sulla migliore prevedibilità dei parametri meteorologici relativi alla medio-bassa troposfera (da 1000 a 5500 m sul l.m.m.) rispetto a quelli in sviluppo nel PBL (“Planetary Boundary Layer”).

Il PBL è la parte di troposfera nella quale il campo dei moti atmosferici risente in maniera marcata dell’influenza della superficie terrestre (in termini di attrito e di scambi termodinamici) e può estendersi fino a oltre 1 km di altezza. Lo spessore del PBL è variabile nello spazio e nel tempo.

Inquinamento

Con il termine “Inquinamento” si intende una modificazione dello stato fisico, chimico o biologico di una certa componente ambientale, tale da non consentirne o limitarne le possibilità di utilizzazione o tale, in molti casi, di arrecare nocimento alle specie viventi che in essa hanno stabilito il loro *habitat*.

Tale modificazione è dovuta alla immissione nell’ambiente di una serie di componenti estranee alla composizione o struttura standard della stessa o anche all’incremento abnorme di altre fisiologicamente presenti; esse possono essere, coerentemente con la definizione sopra riportata, allo stato gassoso, allo stato solido oppure in forma biologica.

E’ importante introdurre il concetto di “Carico inquinante”. Si definisce **“Carico inquinante” la quantità di massa [m] di una sostanza che viene immessa in una determinata componente ambientale.** E’, come evidente, concetto diverso da quello di “Concentrazione” [m/L³].

E’ da sottolineare che anche l’immissione di un parametro fisico può costituire una forma di inquinamento: si pensi, per esempio, allo scarico di acque di processo molto calde in un corso d’acqua superficiale. La modificazione dello stato fisico a valle dell’immissione (temperatura più elevata) può comportare la “morte biologica” del corso d’acqua anche in assenza di una forma di contaminazione chimica o microbiologica.

Inquinamento atmosferico

L’inquinamento atmosferico consiste in un processo di modificazione, dal punto di vista prevalentemente chimico, della peculiare composizione dell’aria. Tale modificazione può estrinsecarsi sotto diverse forme, tutte caratterizzate dall’incremento delle concentrazioni di alcune sostanze chimiche aventi effetti nocivi sulla salute.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Gli inquinanti, quale che sia la loro origine, vengono divisi in:

- **primari:** quelli immessi nell’ambiente direttamente a seguito del processo che li ha originati, naturale o antropico).
- **secondari:** quelli che si formano a seguito di modificazioni di varia natura, per reazioni chimico-fisiche tra gli inquinanti primari stessi o tra essi e l’atmosfera; possono anche essere attivati dall’energia solare e, per la forte reattività dello stesso, coinvolgono di frequente l’ossigeno atmosferico.

Gli **inquinanti primari** possono essere di tipo gassoso o particellare. Tra i gas si segnalano in particolare:

- composti dello zolfo (SO_2 , SO_3);
- composti dell’azoto (NO);
- composti del carbonio (idrocarburi, CO , ecc.);

Il **particolato primario** è prodotto, in larga prevalenza, dai processi di combustione; esso si classifica in ragione del diametro delle particelle: si considerano grossolane quelle con diametro maggiore di $2.5 \mu\text{m}$ e fini quelle con diametro minore di $2.5 \mu\text{m}$

Si distinguono, inoltre, come inalabili le particelle con diametro minore di $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}).

I principali **inquinanti secondari** di tipo gassoso sono:

- NO_2 formato da NO primario;
- O_3 formato per via fotochimica.

Entrambi questi gas intervengono nei complessi meccanismi di reazione che costituiscono lo “Smog fotochimico o ossidante”

Il **particolato secondario** può derivare da reazioni chimiche e chimico-fisiche che coinvolgono inquinanti gassosi sia primari che secondari.

I più noti processi sono:

- la trasformazione di SO_2 in solfati SO_4^{2-} ;
- la trasformazione di NO_2 in nitrati NO_3^-
- la trasformazione di composti organici in particelle organiche.

Le unità di misura delle concentrazioni di inquinanti atmosferici sono espresse in:

- **ppm (parti per milione) o ppb (parti per miliardo)**, considerando per essi il rapporto in volumi tra la frazione inquinante e il resto di gas contenuto nell'aria. I volumi di inquinante e aria sono determinati alla temperatura e pressione standard di 15°C e 1 Atm ($1013,2 \text{ hPa}$) (pressione atmosferica al livello del mare)
- **$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgrammi per metro cubo)**, considerando il rapporto tra la massa di inquinante (espresso in milionesimi grammo) e il volume d'aria che lo contiene (espresso in m^3). In zone estremamente inquinate, possono essere usati i milligrammi (10^{-3} grammi) al metro cubo.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Nell’inquinamento atmosferico è, quindi, possibile individuare:

- 1) la forma di utilizzazione: la respirazione;
- 2) l’elemento inquinante: gas nocivo o particolato (polveri sottili);
- 3) le conseguenze negative: forme patologiche nell’Uomo (irritazione delle vie respiratorie, intossicazioni anche molto gravi, possibile sviluppo di forme tumorali, ecc.).

A conferma della pericolosità dell’inquinamento atmosferico, si elencano di seguito alcune tra le crisi di smog a maggiore potenziale verificatesi in passato:

- | | |
|---|--|
| 1) Località: Meuse Valley (Belgio),
2-5 dicembre 1930
(Fonte: http://library.thinkquest.org/) | 6000 persone ammalate, 63 morti in pochi
giorni |
| 2) Località: Donora (Stati Uniti),
27 ottobre 1948
(Fonte: wikipedia) | 7000 persone ammalate, 20 morti in 3 giorni |
| 3) Località: Londra (Inghilterra),
Inizio crisi di smog: 5 dicembre 1952
(Fonte: www.guardian.co.uk) | 4000 morti in tre giorni
massimo numero decessi: 8-9 dicembre |

In merito al legame esistente tra i diversi fattori inquinanti e le conseguenze sulla salute, è possibile riportare il seguente schema qualitativo:

- **PM₁₀**: interessa principalmente l'apparato respiratorio e cardiocircolatorio. Il PM₁₀ tende a depositarsi nelle vie respiratorie e va ad interessare varie parti del sistema respiratorio in base alla propria dimensione; infatti il PM₁₀ tende a depositarsi nella parte superiore (faringe) mentre con diametri inferiori le polveri tendono a depositarsi sempre più in profondità fino a raggiungere anche le pareti alveolari (PM_{0,65}); queste polveri possono indurre l'insorgenza di tumori e di disturbi di vario genere.
- **Ozono**: ha effetti a carico del sistema respiratorio tra cui alterazioni irritative delle prime vie aeree e dei polmoni, cefalea e lacrimazione, dolori toracici, faringiti, bronchiti ed altri disturbi minori.
- **Ossidi di azoto**: interessano l'apparato respiratorio, causano effetti acuti come infiammazione delle mucose, diminuzione delle funzionalità respiratoria ed edema polmonare; come effetti cronici può provocare alterazioni polmonari a livello cellulare ed aumento della suscettibilità alle infezioni batteriche.
- **Anidride solforosa**: può provocare bronchiti, tracheiti, spasmi bronchiali, difficoltà respiratoria, asma ed enfisema.
- **Benzene**: è stato classificato dalla IARC come sostanza cancerogena per l'uomo di classe I, in grado di produrre varie forme di leucemia.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

- **Metalli:** in particolare i metalli pesanti (cadmio, mercurio, cromo e piombo) sono quelli maggiormente tossici e che, a seguito di accumulo, possono causare danni ai reni, al sistema nervoso, al sistema immunitario e, in molti casi, avere effetti cancerogeni.

Una interessante indicazione relativa al peso % di ciascuna macrofonte di produzione delle diverse tipologie di inquinanti è desumibile dalla seguente tabella (da Tabella 26 del Piano Regionale di risanamento della qualità dell’aria della Regione Campania):

Tabella N° 1: emissioni totali inquinanti per ciascun macrosettore (valori percentuali %)

Macrosettore \ inquinante	CO	COV	NO _x	PM ₁₀	SO _x	NH ₃
Combustione nell’industria dell’energia e trasformazione fonti energetiche	0,06	0,07	1,59	1,26	16,82	0,00
Impianti di combustione non industriali	1,99	0,42	2,03	13,16	1,02	0,01
Impianti di combustione industriali e processi con combustione	1,47	0,32	8,91	11,90	33,80	0,00
Processi senza combustione	0,18	1,90	0,54	7,24	0,50	0,00
Estrazione e distribuzione di combustibili fossili ed energia geotermica	0,02	1,50	0,05	0,04	0,00	0,00
Uso di solventi	0,0	30,18	0,00	0,01	0,00	0,00
Trasporti stradali	83,57	44,12	53,49	40,59	7,76	7,40
Altre sorgenti mobili e macchine	11,36	8,49	33,33	23,06	40,06	0,02
Trattamento e smaltimento rifiuti	0,06	0,69	0,04	0,45	0,04	4,32
Agricoltura	0,00	8,36	0,02	0,00	0,00	88,25
Altre sorgenti	1,29	3,95	0,00	2,29	0,00	0,00
TOTALE	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Il valore di PM₁₀ attribuibile al traffico veicolare su gomma (pari al 40,59%) è in linea con il valore riportato sul VII rapporto ISPRA 2010 sulla Qualità dell’Ambiente Urbano (dati anno 2008).

L’inquinamento atmosferico a Napoli

L’area metropolitana di Napoli è soggetta, come detto, ad un ampio ventaglio di fattori di rischio ambientale. Tra di essi il traffico veicolare è quello che incide in maniera più rilevante, contribuendo in maniera determinante al superamento dei valori limite imposti dalle normative vigenti in materia.

La particolare struttura geomorfologica, come meglio descritta al paragrafo “**Step.1**” fa sì che nell’area metropolitana di Napoli possano manifestarsi singolarmente, in parallelo o talora in parziale sovrapposizione tra di esse, le principali dinamiche di genesi dell’inquinamento atmosferico. Tali dinamiche vengono di seguito descritte.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

A) Inversione termica da irraggiamento notturno nel campo dell’infrarosso, causa dello “Smog riducente o di Londra”.

Si verifica in zone con forti abbassamenti notturni di temperatura dovuti all’irraggiamento, con conseguente formazione di nebbie influenzate dalla presenza di pulviscolo igroscopico. Tale dinamica è presente sulle zone pianeggianti più orientali di Napoli (Zona Ferrovia, Poggioreale, S. Giovanni, Barra) e nella conca di Agnano.

Sul fenomeno esercita una notevole influenza la ventilazione, secondo tale schema:

Vento moderato	→ rimescolamento	→ assenza nebbia
Assenza vento	→ assenza rimescolamento	→ presenza rugiada
Brezza lieve	→ rimescolamento	→ nebbia fitta

Condizioni di base:

- bassa temperatura ($-1^{\circ}\text{C} \div +4^{\circ}\text{C}$)
- inversione termica al suolo
- umidità relativa elevata
- elevati quantitativi di anidride solforosa (SO_2) e materiale particolato
- tipico dell’inverno, nelle prime ore del giorno.



Foto N°1: NAPOLI – 01/01/2011 – ore 11.00. Presenza di strato atmosferico ad elevato tenore di inquinamento sui settori orientali dell’area metropolitana di Napoli (sullo sfondo); si tratta in gran parte dei fumi prodotti dai fuochi pirotecnici, impossibilitati a disperdersi e a diffondersi verso l’alto per la presenza di un’intensa inversione termica al suolo.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

**B) Inversione termica da “stasi”, causa dello “Smog ossidante o fotochimico”
(o di Los Angeles).**

Si verifica in zone prossime al mare caratterizzate da brezze, con alture alle spalle, con forti irraggiamenti solari diurni, con conseguente reazioni fotochimiche e formazione di sostanze irritanti e dannose.

Condizioni di base:

- inversione termica in quota
- cielo sereno ed irraggiamento solare molto intenso
- temperature elevate (19° - 26°C)
- umidità relativa bassa
- reazioni fotochimiche primarie, reazioni termiche secondarie (ossidi di N, S, C, aldeidi, idrocarburi, ecc.)
- tipico dell'estate, nelle ore centrali del giorno.

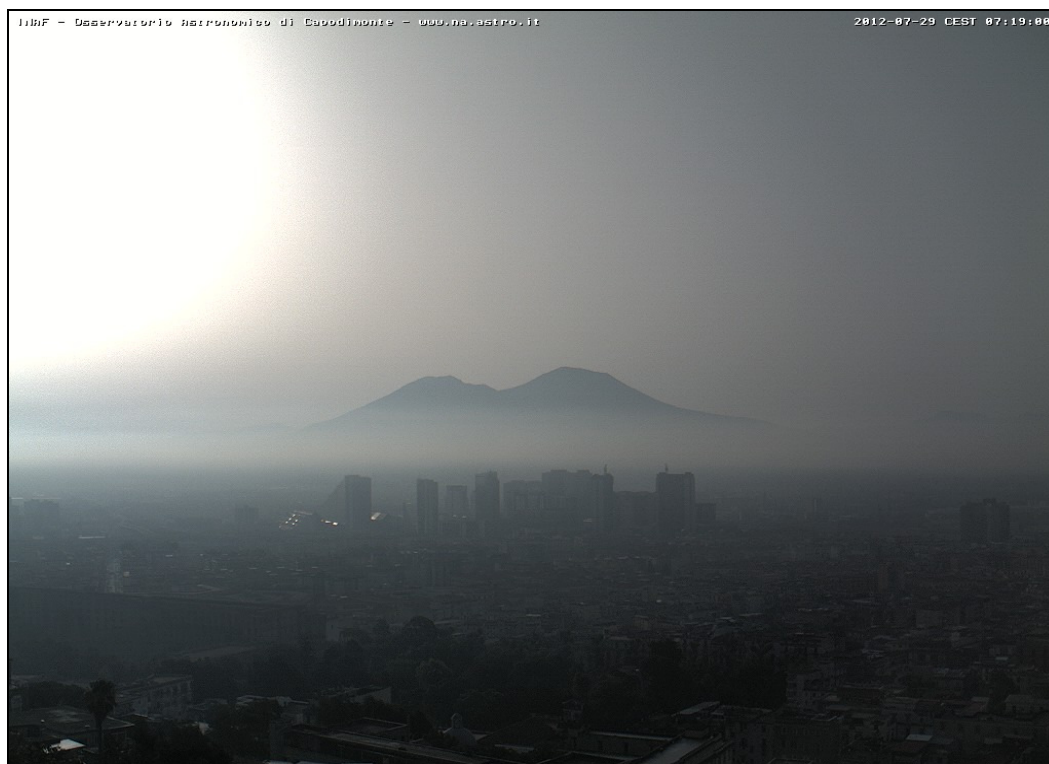


Foto N°2: NAPOLI – 29/07/2012 – ore 07.20. Presenza di strato atmosferico ad elevato tenore di inquinamento non a contatto con il suolo; gli inquinanti sono impossibilitati a disperdersi e a diffondersi verso l'alto per la presenza di una fascia di inversione termica presente con base a circa 100 m dal suolo.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

C) Inversione o omotermia termica su base subsidente, causa di smog da “effetto pistone”.

Si verifica ogni qualvolta l’area viene interessata da forti campi anticiclonici, ben strutturati a tutte le quote troposferiche, con presenza di una spiccata componente subsidente (moti verticali dall’alto verso il basso). Ciò favorisce l’accumulo degli inquinanti, proprio come in presenza di un pistone che preme verso il basso.

Condizioni di base:

- presenza campi anticiclonici ben strutturati
- ubicazione dell’area in corrispondenza dei massimi di geopotenziale alle diverse quote
- ventilazione modesta nei bassi strati
- manifestazione in tutte le stagioni dell’anno.

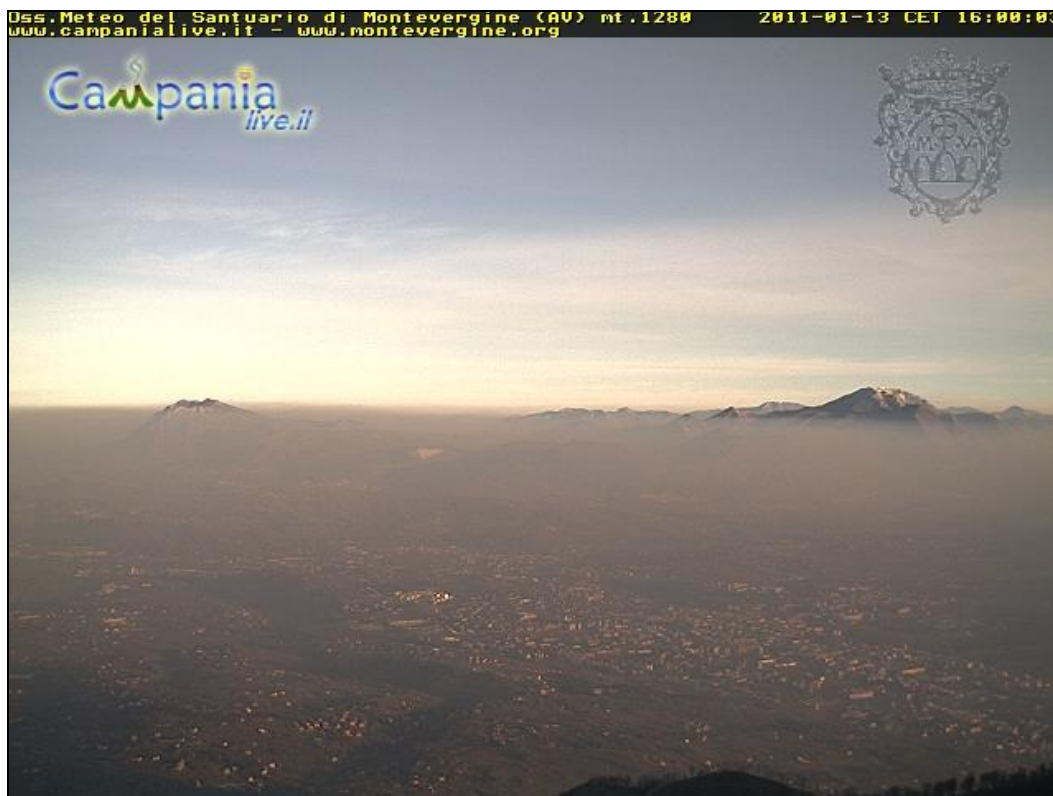


Foto N°3: AVELLINO – 29/07/2012 – ore 16.00: cappa di smog da “effetto pistone” sulla conca di Avellino; si noti la netta separazione tra la parte di atmosfera ad elevato tenore di inquinamento (in basso) e la parte sovrastante, a basso contenuto di inquinanti.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Negli schemi grafici seguenti si riporta il comportamento dei fumi emessi da una ciminiera (emissione puntuale) in relazione alla distribuzione verticale della temperatura. Il caso “ciminiera” rende graficamente in maniera più evidente le diverse possibili geometrie del pennacchio; se al posto di una emissione puntuale consideriamo un quadro di emissioni diffuse, le azioni agenti sulle sostanze inquinanti immesse in atmosfera non cambiano e il risultato finale è, comunque, sempre esprimibile in termini di “Fanning” (pennacchio con distensione “a ventaglio”), “Fumigation” (pennacchio fumigante) o “Looping” (pennacchio serpeggiante).

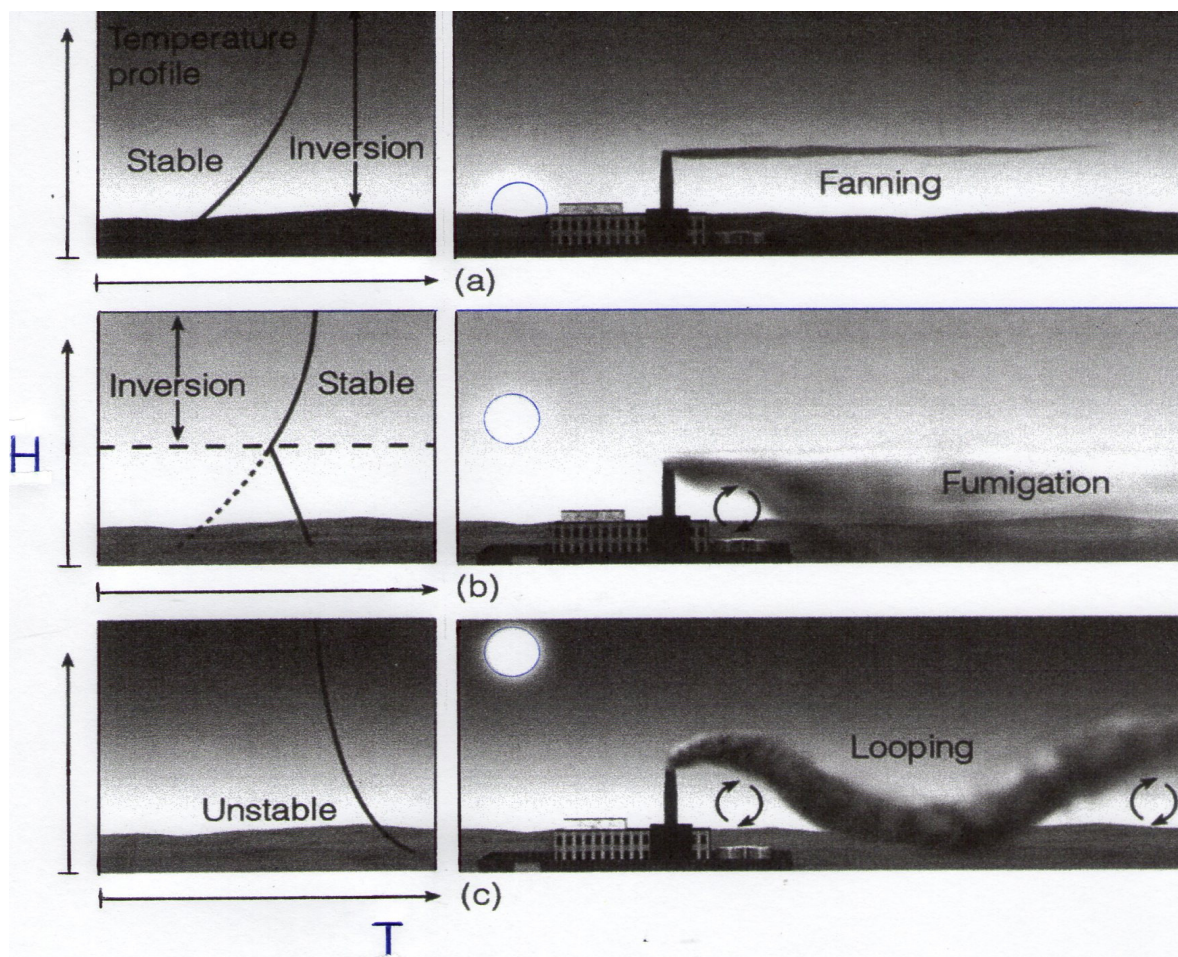


Figura N°1: possibili distribuzioni geometriche degli effluenti emessi da sorgente puntuale.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Attività di ricerca

Le attività svolte nell’ambito del presente progetto di ricerca hanno riguardato il parametro PM_{10} (polveri sottili), individuato quale fattore rappresentativo del processo di inquinamento a Napoli.

Il PM (Particulate Matter) si classifica in base al diametro D delle particelle in:

Particelle grossolane: PM_{10} ($2,5 < D < 10 \mu m$)

Particelle fini: $PM_{2,5}$ ($0,1 < D < 2,5 \mu m$)

Particelle ultrafini: $PM_{0,1}$ ($D < 0,1 \mu m$).

PM_{10}

Componenti: polvere, spore fungine, terreno, metalli, Si, Ca, Fe, Al

Fonti: agricoltura, suolo, polvere stradale, aerosol marino, particelle aerodisperse

Permanenza: da ore a giorni

Distribuzione: regionale nell’ordine di 10-100 km

$PM_{2,5}$

Componenti: carbonio elementare e organico, idrocarburi, particelle ultrafini aggregate, ioni di ammonio, solfato, nitrato, metalli Fe, Al, Ni, Zn, Cu, Si

Fonti: combustioni primarie, formazione secondaria da gas e particolato

Permanenza: da giorni a settimane

Distribuzione: nell’ordine di 1000 km dalla fonte

$PM_{0,1}$ (particelle ultrafini)

Componenti: Combustioni primarie idrocarburi, metalli, carbonio organico

Fonti: fotochimica secondaria, VOC/SVOC, emissioni autoveicolari

Permanenza: da minuti a ore

Distribuzione: nell’ordine di 100 m dalla fonte

La quota parte compresa tra 0,1 e 10μ rappresenta la frazione più importante perché, raggiungendo gli alveoli polmonari, provoca i maggiori danni alla salute umana; di tutto il particolato, il PM_{10} ne costituisce il 50% e il $PM_{2,5}$ il 45-65% di quest’ultimo (Fonte: dispense Università IUAV di Venezia).

Analizzando le oscillazioni dei valori di concentrazione delle PM_{10} a Napoli, si è cercato di comprendere, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, il ruolo svolto dal “**fattore meteorologico**”.

Lo studio ha delineato, con sufficiente chiarezza, quali sono i principali fattori che caratterizzano il fenomeno dell’inquinamento atmosferico a Napoli, anche se l’andamento meteorologico non ha proposto, nel periodo di indagini svolte, un numero rilevante di fasi nel quale si siano manifestate,

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

in maniera sinergica, quelle condizioni che comportano una massimizzazione delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici.

Programma di ricerca: tipologia di dati ed informazioni acquisite

Le attività di ricerca hanno avuto una fase iniziale nella quale si è cercato di predisporre un dettagliato piano operativo per l’acquisizione delle informazioni e dei dati occorrenti per lo studio.

Le principali informazioni acquisite hanno riguardato:

1. l’analisi geo-morfologica del territorio dell’area metropolitana di Napoli;
2. l’individuazione di centraline di monitoraggio meteorologico ubicate in posizioni strategiche per la valutazione dei profili termici verticali nell’area metropolitana di Napoli;
3. l’individuazione di *webcams* ubicate in posizioni strategiche per l’osservazione “visiva” del fenomeno dell’inversione termica e dell’inquinamento atmosferico a Napoli;
4. intese con Enti pubblici e privati gestori dei sistemi di rilevamento per la messa a disposizione dei dati utili per la ricerca;
5. strutturazione di fogli e griglie di lavoro per l’inserimento dei dati;
6. impostazione normativa e riferimenti di legge sull’inquinamento atmosferico, con definizione dell’evento “Crisi di SMOG”;
7. inizio della fase di acquisizione del flusso informativo di dati.

Step 1. Analisi geo-morfologica del territorio dell’area metropolitana di Napoli

E’ noto che esistono alcuni fattori di carattere generale che predispongono alla genesi e allo sviluppo dei processi di inquinamento atmosferico.

Tali fattori sono tutti quelli che determinano un ristagno delle masse di aria nei bassi strati, impedendo o limitando i processi di dispersione/diffusione delle sostanze in sospensione. Tra di essi è possibile annoverare:

- presenza di campi di pressione alta e livellata;
- assenza di ventilazione apprezzabile;
- presenza di inversione termica;
- conformazione del territorio tale da sagomare delle “piscine orografiche”.

Il Comune di Napoli (vedi figura N°2) è caratterizzato da un andamento altimetrico alquanto articolato, con presenza di rilievi di evidente genesi vulcanica, in particolare nei settori occidentali (Cratere di Agnano, cratere di Soccavo, cratere degli Astroni, cratere della Solfatara, ecc., facenti tutti parte, in effetti, di un più vasto cratere che occupa l’intera Area dei Campi Flegrei,

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

estendendosi anche in mare nel Golfo di Pozzuoli) ed altri in cui tale aspetto morfologico è meno evidente.

L’area a maggiore elevazione è quella corrispondente al bastione tufaceo dei Camaldoli, che raggiunge i 458 m sul l.m.m.

L’area metropolitana di Napoli può essere suddivisa in N°5 settori:

1. Settore occidentale: dalla linea di costa (via Coroglio) verso Nord-Est, attraverso i quartieri di Bagnoli, Cavalleggeri d’Aosta e Fuorigrotta, sino ad arrivare ai rilievi collinari del Vomero;
2. Settore centro-occidentale: dalla linea di costa (Lungomare Caracciolo) verso Nord, attraverso il quartiere Chiaia, sino ad arrivare ai rilievi collinari del Vomero;
3. Settore centro-orientale: dall’area portuale turistica verso Nord, attraverso il centro storico di Napoli, sino a giungere all’area di Capodimonte;
4. Settore orientale: dall’area portuale industriale verso Nord, passando attraverso il quartiere della Ferrovia e Poggioreale, sino a giungere all’area di Secondigliano;
5. Settore del costone orografico di Posillipo.

L’area metropolitana di Napoli è, pertanto, quasi per intero, realizzata su un territorio “in pendenza”.

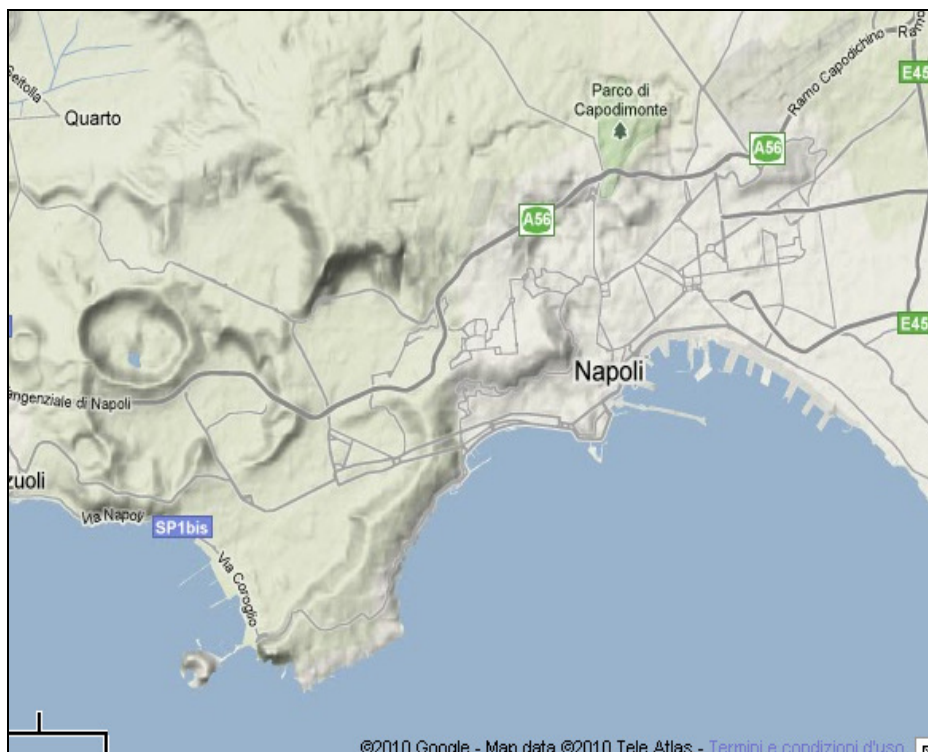


Figura N°2: morfologia orografica Comune di Napoli (Fonte: Google Maps)

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Altro aspetto da evidenziare è quello dell’urbanizzazione spinta, con un tessuto edilizio che ricopre la quasi totalità del territorio; uniche aree verdi di una certa estensione sono il Bosco di Capodimonte, l’area dei Camaldoli (occupata in sommità dall’omonimo Parco Metropolitano) e l’area del Cratere degli Astroni (Oasi WWF) (vedi Figura N°3: foto satellitare).

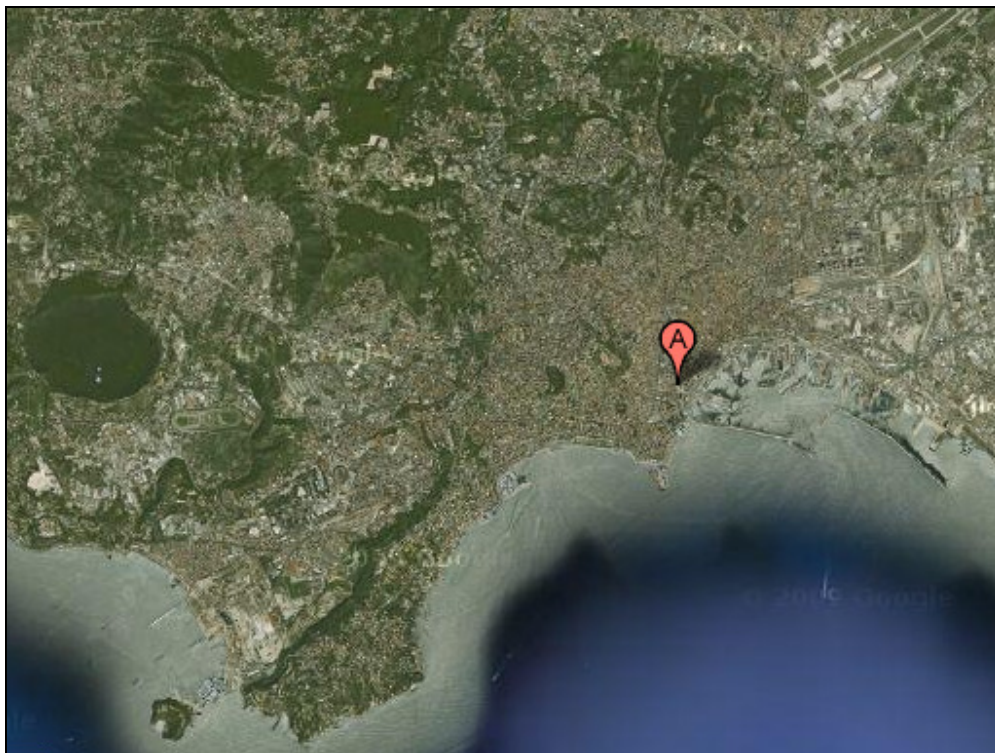


Figura N°3: foto satellitare dell’area metropolitana di Napoli (Fonte: Google Maps)

Step 2. Individuazione di centraline di monitoraggio meteorologico ubicate in posizioni strategiche per la valutazione dei profili termici verticali nell’area metropolitana di Napoli.

Le centraline meteorologiche individuate appartengono alla rete di monitoraggio di www.campanialive.it e all’Osservatorio Meteorologico Federiciano diretto dal Prof. Adriano Mazzearella. Esse sono:

- NAPOLI - Castel S. Elmo (posta a circa 250 m sul l. m. m.)
- Licola/Varcaturò (posta a circa 10 m sul l. m. m.)
- NAPOLI – Largo San Marcellino (posta a circa 50 m sul l.m.m.)

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

La scelta delle centraline è diretta conseguenza della volontà di individuare il processo dell’inversione termica nei bassi strati, fattore avente influenza sul fenomeno dell’inquinamento atmosferico. I dati dell’Osservatorio Meteorologico Federiciano, sito in Largo San Marcellino, sono pienamente rappresentativi delle condizioni termo-igrometriche nell’area del centro storico di Napoli.

Step 3. Individuazione di webcams ubicate in posizioni strategiche per l’osservazione “visiva” del fenomeno dell’inversione termica a Napoli.

Le webcams individuate appartengono, così come due delle centraline meteorologiche utilizzate, alla rete di monitoraggio di www.campanialive.it. Tra di esse riveste particolare importanza la webcam installata presso l’Osservatorio Astronomico di Capodimonte nel maggio 2011 e che inquadra le zone orientali di Napoli, con il Centro Direzionale in primo piano ed il complesso Somma/Vesuvio sullo sfondo.

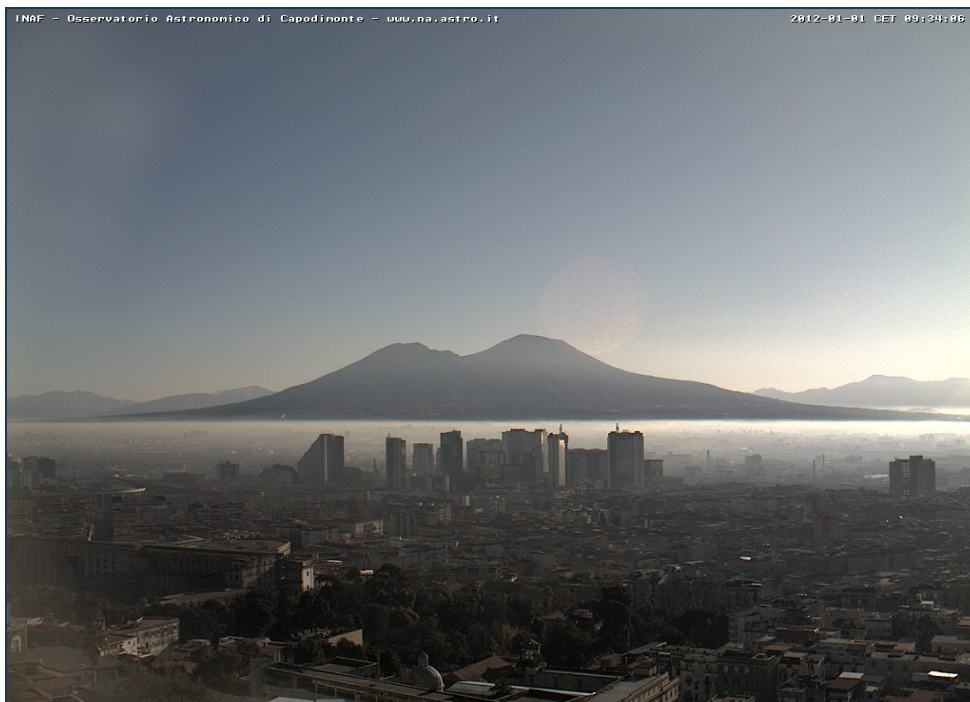


Foto N°4: NAPOLI - 01/01/2012 – ore 9.34: strato di inversione termica al suolo, in situazione di totale stabilità atmosferica (si noti la netta superficie di demarcazione tra fascia di aria fredda al suolo, ad elevata concentrazione di PM_{10} , e la parte di atmosfera sovrastante, più calda).

L’inquadratura risulta di grande utilità ai fini della individuazione della fascia atmosferica di accumulo degli inquinanti nei bassi strati, particolarmente marcata nella fascia oraria prossima all’alba; il sole, illuminando da Est e attraversando tale strato, lo rende particolarmente evidente (vedi foto N°4).

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Step 4. Intese con Enti pubblici e privati gestori dei sistemi di rilevamento per la messa a disposizione dei dati utili per la ricerca

Si è acquisita la disponibilità da parte di www.campanialive.it di utilizzare ogni dato rilevato dalla propria rete di monitoraggio meteo-ambientale. Si è altresì acquisita la disponibilità da parte dell’A.R.P.A.C. per un utilizzo dei dati rilevati dalla rete di monitoraggio della qualità dell’aria. In entrambi i casi è stato chiesto di citare la fonte dei dati sul presente lavoro di tesi.

Step 5. Strutturazione di fogli e griglie di lavoro per l’inserimento dei dati

I dati sono stati inseriti in tabelle word e fogli di lavoro excel, configurati in relazione alle specifiche necessità di resa dei dati. In molti casi sono state utilizzate le funzioni statistiche di excel.

Step 6. Impostazione normativa sull’inquinamento atmosferico, con definizione dell’evento “Crisi di SMOG”.

L’impostazione normativa in materia va a regolamentare la problematica “inquinamento atmosferico” partendo dal seguente assunto: si è in presenza di inquinamento quando le concentrazioni dei gas (o di qualunque sostanza individuata quale capace di recare ingiuria alla salute umana) superano determinati valori soglia, valori stabiliti e modulati in relazione al livello di pericolosità intrinseca delle diverse sostanze o sulla scorta di studi epidemiologici su vasti campioni di popolazione. Per riduzione dell’inquinamento si intende l’insieme delle misure organizzative mirate ad abbattere le concentrazioni, riportandole, ove possibile, al di sotto di determinati valori limite (Decreto legislativo 13 agosto 2010 , n. 155: attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell’aria ambiente e per un’aria più pulita in Europa).

Tali misure organizzative mirano al conseguimento degli obiettivi riportati nella seguente tabella:

Tabella N°2: valori limite previsti dalla normativa vigente

Inquinante	Valore Limite	Periodo di mediazione	Legislazione
Monossido di Carbonio (CO)	Valore limite protezione salute umana: 10 mg/m³	Max media giornaliera calcolata su 8 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI
Biossido di Azoto (NO₂)	Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 18 volte per anno civile: 200 µg/m³	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana: 40 µg/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Soglia di allarme: 400 µg/m³	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.L. 155/2010 Allegato XII

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico –ambientali

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Biossido di Zolfo (SO₂)	Valore limite protezione salute umana da non superare più di 24 volte per anno civile: 350 µg/m³	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana da non superare più di 3 volte per anno civile: 125 µg/m³	24 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Soglia di allarme: 500 µg/m³	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.L. 155/2010 Allegato XII
Particolato fine (PM₁₀)	Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 35 volte per anno civile: 50 µg/m³	24 ore	D.L. 155/2010 Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana: 40 µg/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
Particolato fine (PM_{2.5}) FASE I	Valore limite, da raggiungere entro il 1° gennaio 2015: 25 µg/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
Particolato fine (PM_{2.5}) FASE II	Valore limite, da raggiungere entro il 1° gennaio 2020, valore indicativo: 20 µg/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
Ozono (O₃)	Valore obiettivo per la protezione della salute umana, da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni: 120 µg/m³	Max media 8 ore	D.L. 155/2010 Allegato VII
	Soglia di informazione: 180 µg/m³	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XII
	Soglia di allarme: 240 µg/m³	1 ora	D.L. 155/2010 Allegato XII
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, nell’arco di un anno civile.	Max media 8 ore	D.L. 155/2010 Allegato VII
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione, AOT40 (valori orari) come media su 5 anni: 18.000 (µg/m³ /h)	Da maggio a luglio	D.L. 155/2010 Allegato VII
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione, AOT40 (valori orari) : 6.000 (µg/m³ /h)	Da maggio a luglio	D.L. 155/2010 Allegato VII
Benzene (C₆H₆)	Valore limite protezione salute umana: 5 µg/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
Benzo(a)pirene (C₂₀H₁₂)	Valore obiettivo: 1 ng/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
Piombo (Pb)	Valore limite: 0,5 µg/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XI
Arsenico (Ar)	Valore obiettivo: 6,0 ng/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
Cadmio (Cd)	Valore obiettivo: 5,0 ng/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII
Nichel (Ni)	Valore obiettivo: 20,0 ng/m³	Anno civile	D.L. 155/2010 Allegato XIII

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Nel caso di valori inferiori a quelli limite previsti dalle normative non è, comunque, possibile dichiarare che l’atmosfera è esente da inquinamento: è semplicemente presente una forma di inquinamento più blanda, caratterizzata da valori della concentrazione inferiori ai valori limite imposti dalle normative: in questo *status*, l’atmosfera può essere definita “contaminata” da uno o più dei diversi elementi.

Le concentrazioni sono limitate inferiormente dal valore zero (concentrazione nulla) ed è solo in occorrenza di questo caso, assolutamente teorico, che sarebbe possibile affermare che, non essendo presente contaminazione, l’inquinamento risulta nullo.

Con la dizione “**Crisi di smog**” si intende un periodo sufficientemente lungo (almeno 3-4 giorni) nei quali le concentrazioni superano notevolmente e costantemente, su vaste aree geografiche, i valori soglia di concentrazione di uno o più dei parametri indicativi di uno stato di inquinamento.

Step 7. Fase di acquisizione del flusso informativo di dati.

Partendo da quanto riportato in bibliografia, si è iniziata un’attività di archiviazione di quei dati ed informazioni che possano essere poste in stretta correlazione con l’andamento delle concentrazioni delle sostanze inquinanti presenti in atmosfera (Zannetti, 1990).

I dati analizzati nella fase iniziale della ricerca sono stati i seguenti:

- valori della temperatura alle ore 7.00 in corrispondenza delle centraline di rilevamento di S. Elmo e Licola/Varcaturò (**fonte: www.campanialive.it**);
- valori della pressione atmosferica riportata al livello del mare (**fonte: www.campanialive.it**);
- concentrazione media PM₁₀ nelle 24 ore (**fonte: ARPAC**).

In tale fase è stata scelta, quale rappresentativa dello stato di inquinamento, la centralina posizionata in adiacenza al Museo Nazionale (NA06). Essa è ubicata in una zona fortemente predisposta a raggiungere livelli elevati di inquinamento sia per la modesta circolazione aerea indotta dalla circostante struttura edilizia, sia per il forte traffico veicolare tipico della zona.

Tale fase di studio, nel complesso, ha reso evidenza di una insufficienza dei dati analizzati; questi ultimi, pertanto, sono stati integrati secondo il seguente schema:

1) acquisizione di dati meteorologici:

- a. temperatura ore 00.00, ore 07.00 (valore misurato Tmin: Licola/Varcaturò - S. Elmo)
- b. altezza superficie isobarica 850 hPa (valore sinottico – Fonte : UKMO-3B)
- c. altezza superficie isobarica 700 hPa (valore sinottico – Fonte : UKMO-3B)
- d. altezza superficie isobarica 500 hPa (valore sinottico – Fonte : UKMO-3B)

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

- e. temperatura a quota isobarica 850 hPa (valore sinottico – Fonte : UKMO-3B)
 - f. temperatura a quota isobarica 700 hPa (valore sinottico – Fonte : UKMO-3B)
 - g. temperatura a quota isobarica 500 hPa (valore sinottico – Fonte : UKMO-3B)
- 2) **post-elaborazione di dati meteorologici per ricavare alcuni indici rappresentativi dell’andamento termico notturno;**
 - 3) **acquisizione di dati di inquinamento atmosferico rilevati dall’intera rete di centraline ARPAC.**

La fase finale del programma di ricerca ha visto i seguenti *steps* operativi:

- acquisizione ed elaborazione dei dati relativi ai parametri meteorologici che nella fase intermedia del percorso di ricerca sono stati individuati come aventi “maggiore rilevanza” nello sviluppo di una crisi di SMOG;
- acquisizione di dati di inquinamento atmosferico rilevati dalla rete di centraline ARPAC;
- strutturazione di un modello fisico-matematico o anche, in subordine, un mero algoritmo di valutazione preventiva del livello di rischio di “Crisi di Smog”;
- ipotesi gestionali a livello comunale per la limitazione dell’incremento delle concentrazioni di PM₁₀ e degli altri inquinanti in atmosfera.

Acquisizione ed analisi dati

Nella presente ricerca, come già detto in precedenza, si è deciso di rappresentare le condizioni di inquinamento atmosferico attraverso i valori di concentrazione raggiunti dal parametro PM₁₀ (polveri sottili sino a 10 µm).

La scelta di utilizzare il PM₁₀ è stata dettata anche dalla considerazione che le polveri sottili sono prodotte “trasversalmente”, seppur in misura differenziata, da tutte le principali fonti di inquinamento, al contrario dei vari tipi di gas (NO_x, SO_x, CO, O₃, benzene, ecc.) che si associano, in maniere più o meno spinta, a specifiche tipologie di attività.

Una rete di monitoraggio della qualità dell’aria in ambito urbano (in ottemperanza a quanto stabilivano il D.Lgs. 351/99 e il D.M. 60/2002) deve prevedere l’individuazione di una serie di postazioni ubicate secondo i seguenti principi:

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

- a) una o più stazioni di base o di riferimento (di **tipo A**), presso le quali misurare tutti gli inquinanti primari e secondari, i parametri meteorologici di base e gli inquinanti non convenzionali, da valutarsi con metodologie analitiche manuali. Tali stazioni devono essere preferenzialmente localizzate in aree non direttamente interessate dalle sorgenti di emissione urbana (parchi, isole pedonali, ecc.);
- b) stazioni situate in zone ad elevata densità abitativa (di **tipo B**), nelle quali misurare la concentrazione di alcuni inquinanti primari e secondari, con particolare riferimento al biossido di azoto, idrocarburi, anidride solforosa e materiale particellare in sospensione;
- c) stazioni situate in zone a traffico intenso (di **tipo C**), per la misura degli inquinanti emessi direttamente dagli autoveicoli (ossido di carbonio, idrocarburi volatili), situate in zone ad alto rischio espositivo quali strade ad elevato traffico e modesta ventilazione;
- d) stazioni situate in periferia o in aree suburbane (di **tipo D**), finalizzate alla misura degli inquinanti fotochimici (biossido di azoto, ozono) da rilevarsi in particolare nei mesi estivi, sulla base di campagne preliminari di valutazione dello smog fotochimico.

Per ciascun centro urbano il numero delle stazioni delle diverse tipologie suindicate dipende dalla densità della popolazione, dalla struttura degli insediamenti abitativi, dalle peculiarità meteo-climatiche e dall'estensione geografica. Per la città di Napoli la rete, gestita da ARPAC, è costituita dalle seguenti stazioni:

Tabella N°3: elenco centraline di monitoraggio RETE ARPAC e disposizione sul territorio

Sigla	Comune	Localizzazione	Tipo	CO	SO ₂	O ₃	NO	NO ₂	NO _x	PM ₁₀
NA1	Napoli	Osservatorio Astr. Capodimonte (Salita Moiarriello)	A	X	X	X	X	X	X	X
NA2	Napoli	Ospedale Santobono (Via M. Fiore)	B	-	X	-	X	X	X	X
NA3	Napoli	Primo Policlinico (Piazza Miraglia)	B	-	X	-	X	X	X	X
NA4	Napoli	Scuola Media A. Doria ex Silio Italico (Via G. Cesare)	C	X	-	-	X	X	X	X
NA5	Napoli	Scuola Elementare Vanvitelli (Via L. Giordano)	C	X	-	-	X	X	X	X
NA6	Napoli	Museo Nazionale	C	X	-	-	X	X	X	X
NA7	Napoli	Ferrovie dello Stato (Corso Novara)	C	X	-	-	X	X	X	X
NA8	Napoli	Ospedale Nuovo Pellegrini (Via F. M. Briganti)	D	-	-	X	X	X	X	X
NA9	Napoli	I.T.I.S. San Giovanni (Via Argine)	D	-	-	X	X	X	X	X

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Materiali e metodi utilizzati

Tra i processi atmosferici, l’inversione termica è quello che in letteratura viene identificato tra i massimi responsabili dell’inquinamento atmosferico, a sua volta direttamente correlato al grado di stabilità atmosferica.

L’inversione termica consiste in una inversione del normale andamento termico verticale: in condizioni normali, la temperatura si abbassa al crescere della quota sul livello del mare, con gradienti ($G=\Delta T/\Delta H$) che possono assumere diversa entità a seconda di contingenti e specifici fattori locali di tipo termodinamico.

L’applicazione della Legge di Stevino (la riduzione della pressione con la quota risulta proporzionale all’accelerazione di gravità g e alla densità ρ),

$$(1) \quad dp = - \rho \, g \, dz$$

associata all’equazione di stato di un gas perfetto:

$$(2) \quad P = \rho \, R \, T \quad (\text{ove } R \text{ è la costante specifica dell’aria secca, } T \text{ è la temperatura}).$$

consente di ottenere le seguenti espressioni:

$$P = P_0 \cdot e^{(-zg/RT)} \quad \rho = \rho_0 \cdot e^{(-zg/RT)}$$

Quindi, in prima approssimazione, la pressione e la densità della componente gassosa dell’atmosfera decresce in modo esponenziale con l’altezza.

L’applicazione di queste espressioni consente di ricavare la struttura dell’atmosfera standard, riportata nella tabella N°4 alla pagina seguente (in grassetto i valori relativi alle quote indagate nel presente lavoro).

Le masse d’aria atmosferiche sono soggette a continue variazioni dei parametri fisici che le caratterizzano; tali trasformazioni, dal punto di vista termodinamico, possono essere adiabatiche o non adiabatiche. Le prime avvengono senza scambio di calore tra il sistema in fase di trasformazione e l’ambiente al contorno, il contrario avviene per le seconde.

I processi atmosferici non sono perfettamente adiabatici ma è possibile ritenere che le trasformazioni dell’aria non si discostino molto da tale dinamica di processo.

In termodinamica la relazione che lega la variazione di temperatura a quella della pressione è rappresentata dall’equazione di Poisson:

$$T_2/T_1 = (P_2/P_1)^K \quad \text{con } K = 0,29$$

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Tabella N°4: Atmosfera standard

ATMOSFERA STANDARD				
Altitudine (m)	Temperatura (°C)	Pressione (hPa)	$\Delta P/1000 \text{ m (hPa)}$	Densità (kgm/m ³)
0	15,0	1013,2	114,5	1,225
1000	8,5	898,7	103,8	1,112
1500	5,2	846,1	50,9	1,062
2000	2,0	794,9	49,1	1,006
3000	-4,5	701,1	84,7	0,909
4000	-11,0	616,4	76,2	0,819
5000	-17,5	540,2	36,5	0,736
5500	-20,8	503,7	31,9	0,695
6000	-24,0	471,8	61,2	0,660
7000	-30,5	410,6	54,6	0,589
8000	-37,0	356,0	48,6	0,525
9000	-43,5	307,4	43,1	0,466
10000	-50,0	264,3	38,0	0,413
11000	-56,5	229,3	33,0	0,364
12000	-56,5	193,3	-	0,311

A seconda del livello dove una massa d’aria si trova, per il legame che esiste tra temperatura, pressione e, quindi, altezza, essa possiederà una determinata energia termica di posizione o potenziale. Per poter confrontare due elementi di massa d’aria a quote diverse è necessario conoscere le loro temperature potenziali calcolate rispetto ad un certo livello.

Poiché le trasformazioni dell’aria sono legate alle variazioni della pressione, si è convenuto di prendere come livello di riferimento quello corrispondente al valore barico di 1013 hPa; quindi la temperatura potenziale è quella che una massa d’aria assumerebbe se fosse portata adiabaticamente a tale valore pressorio.

Se consideriamo una massa d’aria secca (non satura) m_1 , alla pressione p_1 e con temperatura t_1 , per determinare la sua temperatura potenziale è necessario effettuare una operazione equivalente al suo trasporto ad una quota h_2 alla quale corrisponde una pressione $p_2 = 1013 \text{ hPa}$.

L’espressione della temperatura potenziale θ si desume dall’equazione di Poisson:

$$\theta = T_1 (1013/p_1)^{0,29} \quad \text{ove } T = \text{temperatura assoluta : } T \text{ (K)} = t \text{ (}^\circ\text{C)} + 273,15$$

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

La temperatura potenziale θ è un parametro estremamente importante nella rappresentazione delle condizioni di stabilità (o instabilità) dell’atmosfera e per tale motivo se ne è sentita l’esigenza di utilizzo nel presente lavoro.

Infatti si ha:

- θ crescente al crescere della quota → presenza di condizioni di stabilità atmosferica;
- θ decrescente al crescere della quota → presenza di condizioni di instabilità atmosferica;
- θ costante al crescere della quota → presenza di condizioni di equilibrio indifferente

E’ di immediata evidenza fisica la forte correlazione tra le condizioni di equilibrio atmosferico e la tendenza all’incremento delle concentrazioni degli inquinanti nei bassi strati.

Abbiamo tre casi:

- Caso “A”:** $d\theta/dh > 0$: il “sistema atmosferico” esercita una azione di richiamo della massa d’aria verso la posizione iniziale;
- Caso “B”:** $d\theta/dh < 0$: il “sistema atmosferico” esercita una azione di allontanamento della massa d’aria dalla posizione iniziale;
- Caso “C”:** $d\theta/dh = 0$: il “sistema atmosferico” esercita una azione neutra sulla massa d’aria (a risultante nulla).

Poiché il riscaldamento dell’atmosfera avviene fondamentalmente dal basso (per conduzione tra la superficie terrestre e gli strati aeriformi a contatto con essa), le dinamiche innescate sono di tipo fondamentalmente convettivo, con correnti ascensionali in corrispondenza dei poli caldi.

Nel **Caso “A”** il moto ascensionale della massa d’aria calda viene frenato, subendo una azione di richiamo verso il basso → accumulo di inquinanti per impossibilità di dispersione/diffusione degli stessi.

Nel **Caso “B”**, invece, il moto ascensionale viene accelerato, subendo una spinta diretta verso l’alto (spinta di galleggiamento) → dispersione/diffusione degli inquinanti.

Metodi di correlazione

La serie di dati relativi alle concentrazioni di PM_{10} sono stati posti in relazione ai diversi parametri meteorologici individuati quali aventi significativa influenza sulle dinamiche di sviluppo delle crisi di smog. Al fine di quantificare analiticamente il grado di correlazione, le serie di dati sono state trattate con la funzione di Excel “Correlazione”.

Essa valuta la correlazione tra due variabili aleatorie X (valori concentrazioni PM_{10}) e Y (parametri meteorologici) mediante il rapporto tra la loro covarianza e il prodotto delle loro deviazioni standard:

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

$$\text{Corr}_{xy} = \text{cov}(XY) / (\sigma_x \cdot \sigma_y)$$

cov_{xy} = covarianza tra le serie di dati

σ_x = deviazione standard X

σ_y = deviazione standard Y

Covarianza σ_{xy} : date due variabili aleatorie X e Y, si definisce covarianza di X e Y la media dei prodotti dei loro scostamenti dalla media

$$\sigma(x,y) = E [(x - E [x]) (y - E [y])]$$

Deviazione standard : radice quadrata della varianza

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2}{N - 1}}$$

Il valore assunto dall’Indice di Correlazione varia tra -1 e +1 (un valore pari a -1 è indicativo di una inversa proporzionalità, +1 di una diretta proporzionalità mentre 0 è indicativo di una totale assenza di correlazione).

Per stabilire la capacità dell’indice di correlazione di valutare correttamente un legame tra due serie di grandezze indipendenti, è possibile applicare la Formula di Fisher; essa consente di ricavare il “Livello di Confidenza C” che è possibile attribuire ad un certo valore dell’indice di correlazione.

$$C = 0.5 \cdot [(N-3)^{0.5}] \cdot \ln[(1+ R)/(1- R)]$$

N = numero dei dati;

R = coefficiente di correlazione;

Se $C > 1.96$ la correlazione è confidente ad un livello del 95%:

Se $C > 2.58$ la correlazione è confidente ad un livello del 99%.

Nella rappresentazione su uno stesso diagramma cartesiano di due o più grandezze fisiche, può accadere che l’ordine di grandezza di esse risulti significativamente diverso, tanto da rendere poco apprezzabili le variazioni di quella nettamente inferiore. Per ovviare a tale inconveniente si procede alla normalizzazione dei valori. Questa operazione statistica rende omogenee le serie di dati, facendo assumere ad essi valori che si attestano (con segno positivo o negativo) intorno al valore

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

zero. Anche per questa operazione si è utilizzata la funzione statistica “Normalizza” di Excel. La formula applicata è la seguente:

$$Z = (X - \mu)/\sigma$$

Ove:

Z = valore normalizzato

X = valore i-esimo di una serie S di dati

μ = valore medio della serie S di dati

σ = scarto quadratico medio

In seguito, al fine di rendere graficamente il livello di correlazione tra i parametri indagati (concentrazioni PM_{10} e parametri meteorologici) si è fatto ricorso ad una rappresentazione mediante “Grafici a dispersione”. Questo tipo di grafico lega i valori di due grandezze inserendole in un diagramma nel quale non interviene il parametro tempo. Sul diagramma si è inserita la retta di tendenza. Tale retta interpola la distribuzione di punti in modo da minimizzare la somma dei quadrati delle distanze ε_i dei punti stessi dalla retta. Il grado di correlazione è espresso dalla pendenza della retta di regressione: forte pendenza significa elevato grado di correlazione (diretta o inversa) e viceversa.

La retta ha la seguente espressione:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X + u_i$$

dove:

i varia tra le osservazioni, $i = 1, \dots, n$;

Y_i = variabile dipendente

X_i = variabile indipendente

$\beta_0 + \beta_1 X$ = retta di regressione o funzione di regressione;

β_0 = intercetta della retta di regressione;

β_1 = coefficiente angolare della retta di regressione;

u_i = errore statistico

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Analisi delle serie di dati acquisiti

Il lavoro di tesi è stato sviluppato secondo due linee di ricerca:

- 1) caratterizzazione dei principali eventi di smog manifestatisi negli ultimi anni;
- 2) analisi della correlazione tra livelli di inquinamento atmosferico e fattori meteorologici selezionati;

Negli allegati sono riportate le tabelle utilizzate per le analisi, valutazioni e calcoli effettuati nel corso del lavoro.

Analisi della correlazione tra livelli di inquinamento atmosferico e fattori meteorologici selezionati.

Per questo lavoro sono stati utilizzati i dati delle concentrazioni di PM₁₀ dell’intera rete di monitoraggio ARPAC. Di seguito si riportano in forma diagrammale i valori giornalieri mediati sull’intera rete.

Diagramma N°1

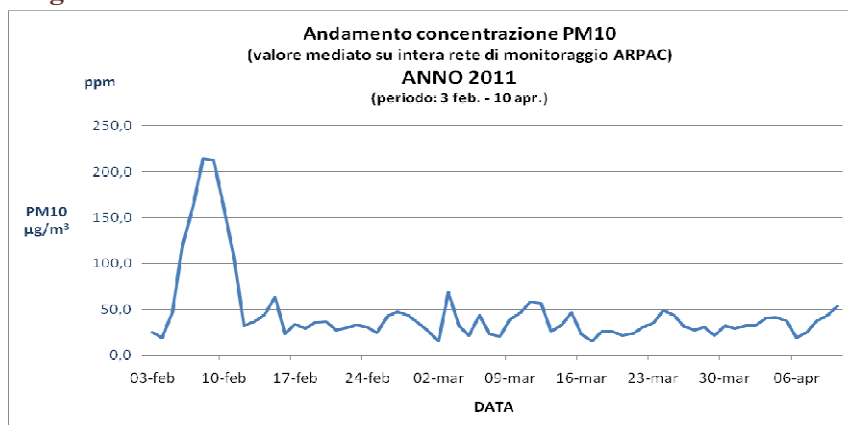
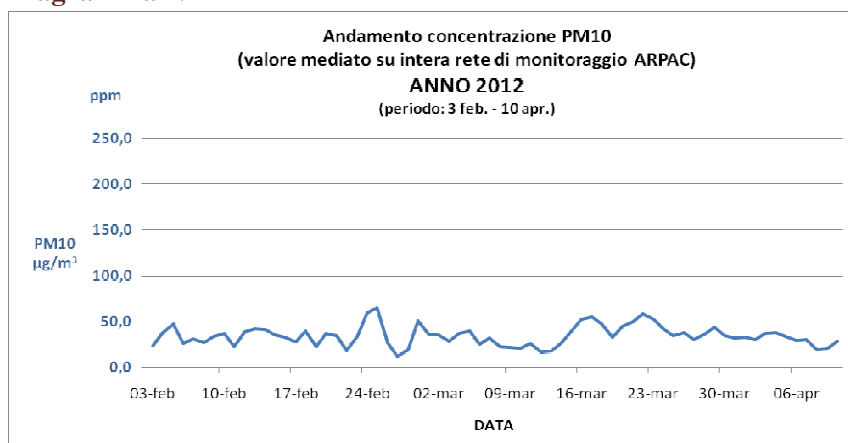


Diagramma N°2



Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Come appare evidente (vedi diagrammi N°1 e N°2), nel periodo di svolgimento del lavoro di tesi non si sono manifestate fasi con elevati livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici, tali da configurare una severa “Crisi di Smog”, con l’unica eccezione costituita dal periodo 06/02 – 11/02/2011.

In quest’ultimo lasso temporale, infatti, come risulta evidente dal diagramma N°1, i valori medi giornalieri sull’intera rete di rilevamento del’ARPAC hanno superato per N°6 giorni di seguito la concentrazione di $100 \mu\text{g} / \text{m}^3$ e per 2 giorni di seguito quella di $200 \mu\text{g} / \text{m}^3$, valori quindi molto elevati, pari persino a 5 volte i limiti previsti dalle vigenti normative in materia ambientale (da ultimo: Decreto Legislativo n.155 del 13 agosto 2010 – appl. Direttiva 2008/50/CE). Il picco massimo è stato registrato dalla centralina installata presso l’Osservatorio Astronomico di Capodimonte, con un valore medio giornaliero pari a $282 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L’archiviazione dei dati di PM_{10} e dei parametri di tipo meteorologico individuati come “rilevanti” per l’inquinamento atmosferico, è proseguita sino al giorno 10 aprile 2011. Essa è stata poi interrotta in quanto con l’avanzare della stagione primaverile iniziano a manifestarsi e a concretizzarsi dei cambiamenti nella struttura dell’atmosfera, tali da rendere non omogeneo, dal punto di vista fisico, il “campo temporale” di indagine .

Al fine di poter analizzare un altro episodio di crisi di smog di rilevante entità, si è, quindi, tornati indietro nel tempo sino al novembre 2009, quando, nei giorni dall’11 al 22, si misurarono valori di concentrazione di PM_{10} molto superiori ai limiti di legge, con una fase acuta dal giorno 18 al giorno 21.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Le principali crisi di smog.

Le crisi di smog oggetto di approfondimento analitico ed inquadramento sono quelle dei giorni 18-21 novembre 2009 e dei giorni 6-11 febbraio 2011.

Esse hanno coperto lassi temporali pari a 4-6 giorni consecutivi per cui è lecitamente possibile la classificazione di “crisi di smog” e non di semplice “picco di inquinamento”.

Di seguito si riporta un fermo-immagine della webcam che dal quartiere Vomero inquadra verso Est, qui inserito allo scopo di rappresentare lo standard di riferimento visivo di “NON INQUINAMENTO”; la visibilità è eccellente e consente di scorgere i minimi dettagli del panorama, anche in lontananza (data: 1 settembre 2010).



Foto N°5: NAPOLI – 01/09/2010 – ore 17.00. Condizione di quasi totale assenza di inquinamento atmosferico.

La CRISI DI SMOG dei giorni 18, 19, 20 e 21 novembre 2009

Questa “crisi di smog” è intervenuta dopo un periodo moderatamente anticiclonico iniziato in data 13 novembre. Dal 17/11 si è poi potuto assistere ad un graduale e deciso rinforzo della struttura anticiclonica, soprattutto in quota, sino ai valori anomali relativi ai giorni 18-21/11.

Tale struttura atmosferica è chiaramente osservabile sulle carte di reanalisi di Wetterzentrale.

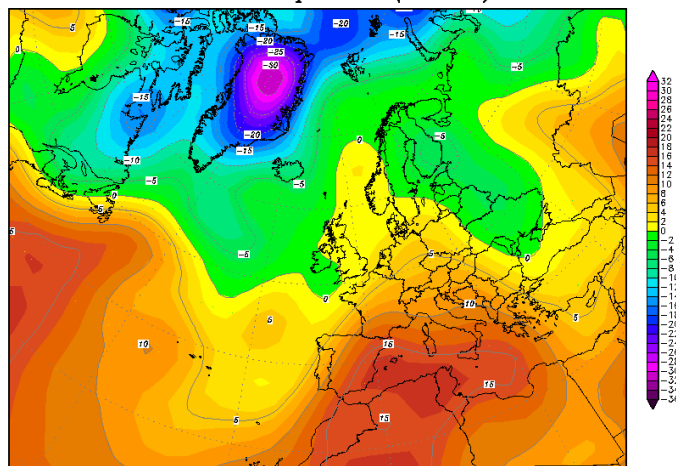
Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Giorno 17 novembre 2009

17NOV2009 00Z

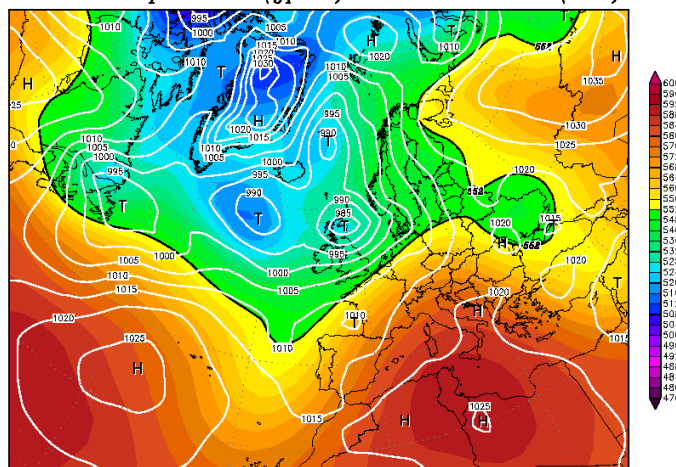
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

17NOV2009 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Commento carte meteorologiche del 17/11

Le carte di reanalisi mostrano un campo di alta pressione sul Mediterraneo centrale (1020 hPa sulla Campania), con valori anomalmente elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (oltre 5840 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch'essa elevata, con circa 12,5°C sulla verticale di Napoli.

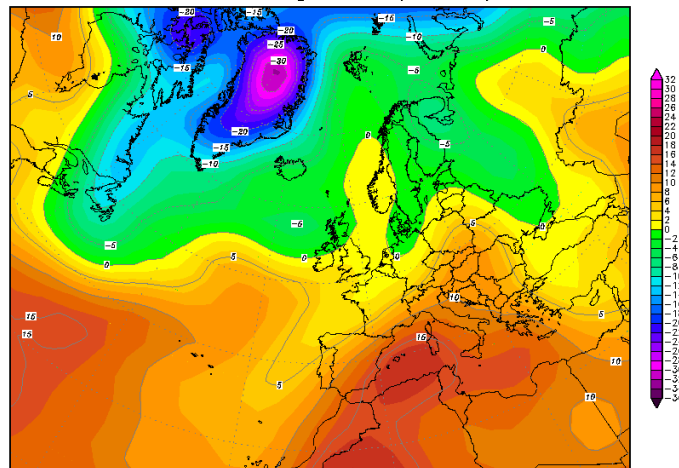
Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Giorno 18 novembre 2009

18NOV2009 00Z

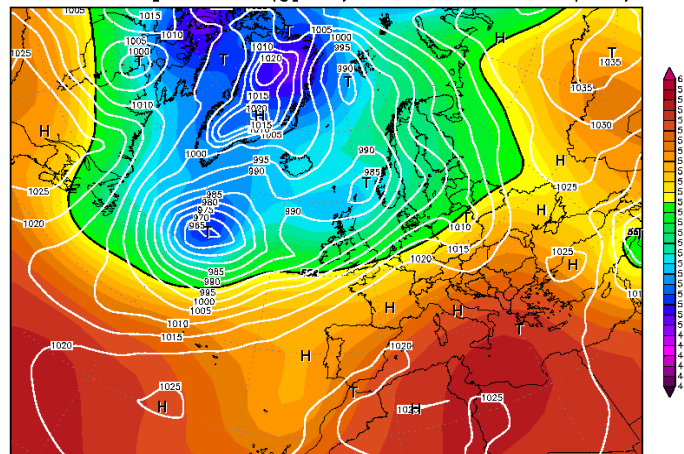
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

18NOV2009 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Commento carte meteorologiche

Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (>1020 hPa sulla Campania), con valori anomalmente elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (oltre 5840 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch'essa elevata, con circa 12,0°C sulla verticale di Napoli.

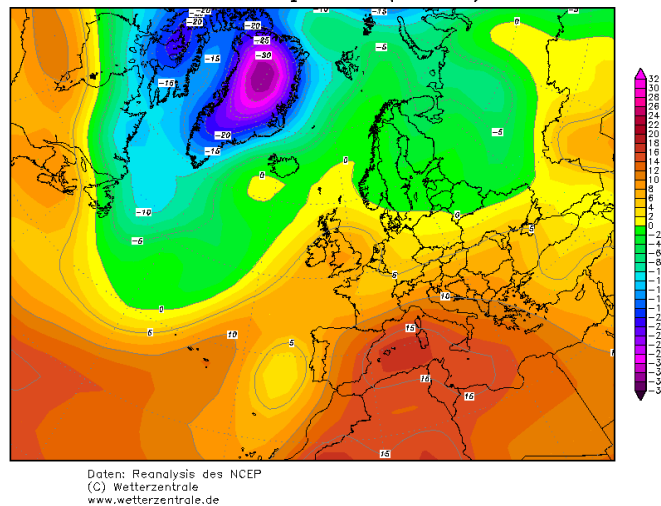
Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Giorno 19 novembre 2009

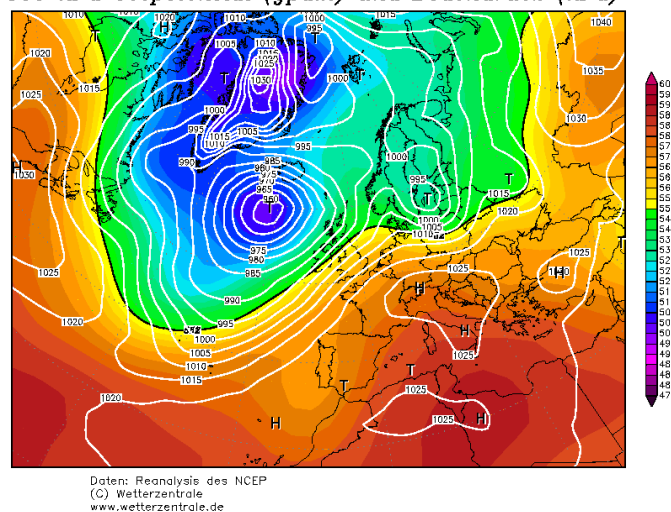
19NOV2009 00Z

850 hPa Temperatur (Grad C)



19NOV2009 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Commento carte meteorologiche del 19/11.

Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (>1025 hPa sulla Campania), con valori anomalmente elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5820 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch'essa elevata, con circa 13,0°C sulla verticale di Napoli.

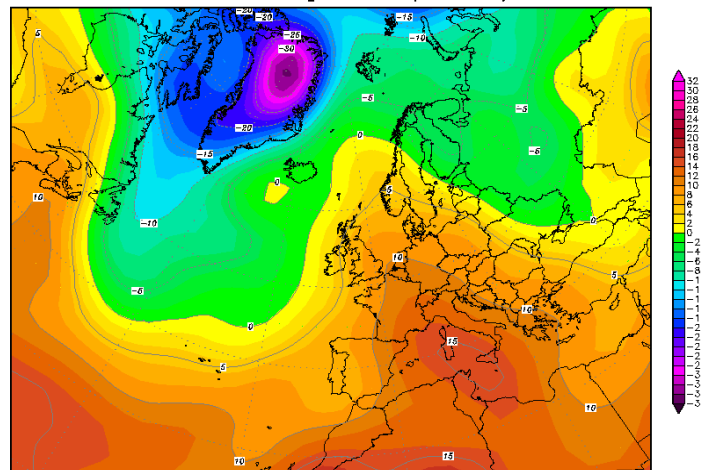
Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Giorno 20 novembre 2009

20NOV2009 00Z

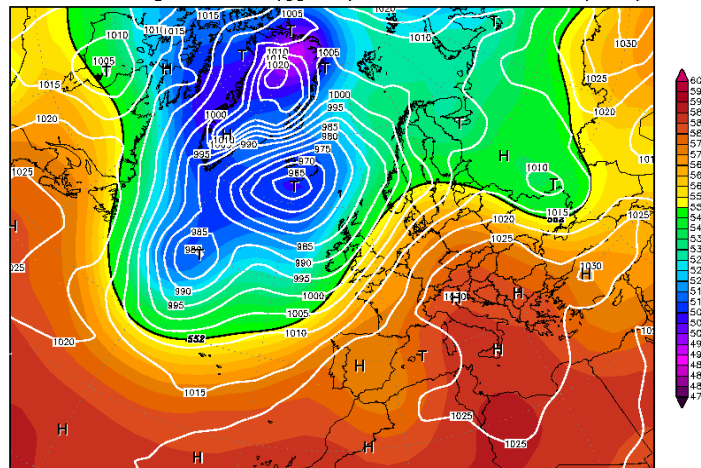
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

20NOV2009 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Commento carte meteorologiche del giorno 20/11.

Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (>1025 hPa sulla Campania), con valori anomalmente elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5850 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch'essa elevata, con circa 13,5°C sulla verticale di Napoli.

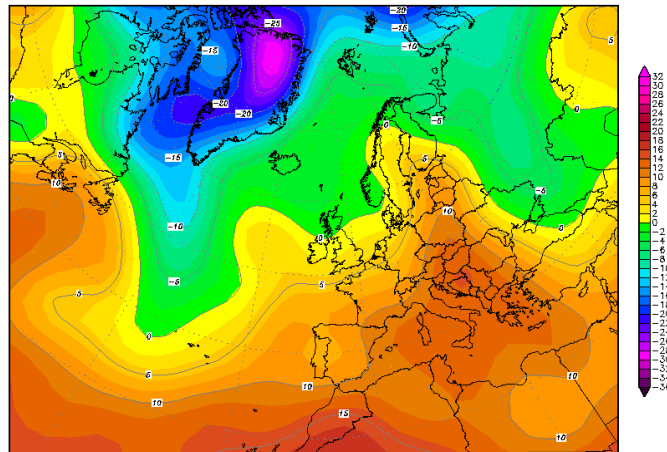
Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Giorno 21 novembre 2009

21NOV2009 00Z

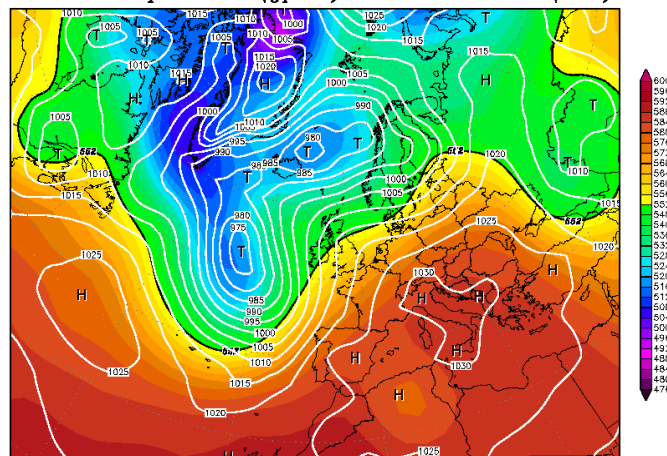
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

21NOV2009 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Commento carte meteorologiche del giorno 21/11.

Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (>1030 hPa sulla Campania), con valori anomalmente elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5860 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch'essa elevata, con circa 13,0°C sulla verticale di Napoli.

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Riportando in un'unica tabella i valori dei parametri meteorologici estratti dalle carte sinottiche di reanalisi di Wetterzentrale, si ha:

Tabella N°5: valori parametri meteorologici relativi ai giorni 17-21 novembre 2009

Giorno	Pressione a l.m. (hPa)	Temperatura 850 hPa (°C)	Altezza 500 hPa (metri)
17 nov.	1020	12,5	5840
18 nov.	1022	12,0	5840
19 nov.	1027	13,0	5820
20 nov.	1028	13,5	5850
21 nov.	1032	13,0	5860

Al fine di valutare le condizioni di stabilità atmosferica, si è proceduto alla valutazione della temperatura potenziale θ a tre diverse quote:

- 50 m sul l.m.m. (centralina di S. Marcellino – Federico II)
- 250 m sul l.m.m. (centralina di Castel S. Elmo)
- 1500 m circa sul l.m.m. (valore acquisito da Wetterzentrale)

Tale valutazione è stata riferita al 19/11/2009, giornata che è stata caratterizzata dai massimi valori di inquinamento.

Tabella N°6: andamento termico verticale (T reale - T potenziale)

	Orario	Baro a l.m. (hPa)	T (°C)			θ (°C)		
			(50 m)	(250 m)	H850	(50 m)	(250 m)	H850
19-nov-09	1.00	1027	15,5	16,2	13,0	13,7	16,0	26,8
19-nov-09	8.00	1027	14,6	17,6	13,0	14,6	17,4	26,8
19-nov-09	16.00	1028	18,7	19,3	13,5	18,7	19,1	27,3
19-nov-09	17.00	1028	18,1	18,5	13,5	18,1	18,5	27,3
19-nov-09	18.00	1028	17,8	18,3	13,5	17,8	18,3	27,3
19-nov-09	22.00	1028	17,8	17,9	13,5	17,8	17,9	27,3
						16,8	17,9	27,2

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Come è possibile constatare dalla tabella N°6, esiste una condizione di inversione termica di grande intensità; ciò corrisponde ad elevati livelli di stabilità atmosferica. Tale inversione termica si evidenzia in maniera ancor più evidente inserendo i dati in un diagramma cartesiano nel quale è riportata la retta del gradiente termico verticale relativo all’atmosfera standard.

Ferma restando la rappresentatività dei valori relativi a ciascun orario di campionamento, per la redazione del diagramma si sono utilizzati i valori medi giornalieri.

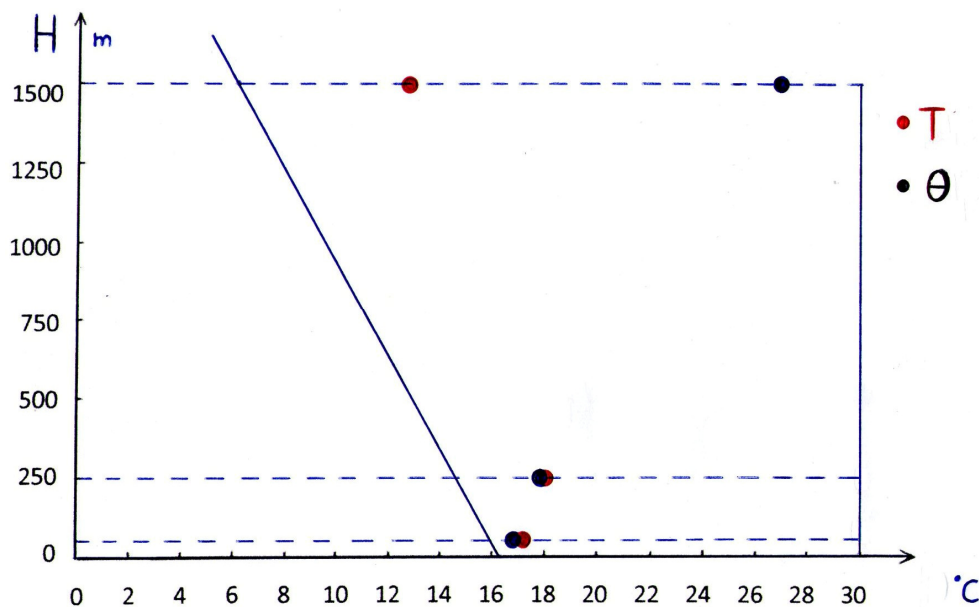


Diagramma N°3: andamento termico verticale “standard” (retta) e condizioni termiche reali (punti)

Come si nota, i tre punti rappresentativi della temperatura potenziale a 50, 250 e 1500 m sul l.m.m. sono tutti posizionati alla destra della retta relativa al normale gradiente termico verticale (adiabatico in aria secca), con scostamenti crescenti più che linearmente con la quota. Stessa considerazione è applicabile alla temperatura effettiva.

A questo quadro, così come sopra inquadrato dal punto di vista meteorologico, si è associato il l’andamento dei livelli di concentrazione di PM_{10} che è possibile desumere dalla tabella N°7 alla pagina seguente: si nota che nel periodo dal 18 al 22 novembre 2009, tutte le centraline hanno misurato, costantemente, un valore medio giornaliero superiore a $50 \mu g/m^3$, con una situazione estrema presso l’Ospedale Nuovo Pellegrini, in particolare nei giorni 19 e 20.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Tabella N°7: crisi di smog dei giorni da 17 a 22 novembre 2009 - valori medi giornalieri PM₁₀

	NA01	NA02	NA03	NA04	NA05	NA06	NA07	NA08	NA09
17 nov.	46	49	82	-	51	74	102	122	96
18 nov.	53	121	127	-	77	105	133	152	100
19 nov.	110	175	179	-	112	147	189	258	159
20 nov.	89	166	171	-	112	136	177	234	155
21 nov.	85	120	119	-	75	98	148	200	148
22 nov.	62	82	91	-	50	74	101	121	95
Media	74	119	128	-	80	106	142	181	126

I dati orari forniti da ARPAC hanno reso possibile individuare la *focus phase*, quella di raggiungimento del massimo livello di inquinamento dell’intera crisi di smog. Essa ricade tra le ore 17.00 e le ore 18.00 del giorno 19 novembre 2009, quando le concentrazioni hanno raggiunto i seguenti valori:

Tabella N°8: valore medio concentrazione PM₁₀ tra ore 17.00 e ore 18.00 del 19/11/2009.

Centralina di monitoraggio ARPAC	µg/m ³
Osservatorio Astronomico Capodimonte (Salita Moiariello)	104
Ospedale Santobono (Via M. Fiore)	210
Primo Policlinico (Piazza Miraglia)	271
Scuola Media A. Doria ex Silio Italico (Via G. Cesare)	-
Scuola Elementare Vanvitelli (Via L. Giordano)	139
Museo Nazionale	214
Ferrovie dello Stato (Corso Novara)	231
Ospedale Nuovo Pellegrini (Via F. M. Briganti)	428
I.T.I.S. San Giovanni (Via Argine)	170

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Le foto seguenti (Foto N°6 e N°7) rendono evidenza delle diverse forme di inquinamento in coazione sull’area metropolitana di Napoli il giorno 19/11/2009. In particolare, nella foto N°8, viene immortalato il momento di massimo livello di inquinamento atmosferico.



Foto N°6: NAPOLI - 19/11/2009 – Ore 11.00. Nella foto è visibile lo strato atmosferico a forte tenore di inquinamento, dovuto alla concomitanza di moti subsidenti e presenza di inversione termica nei bassi strati.

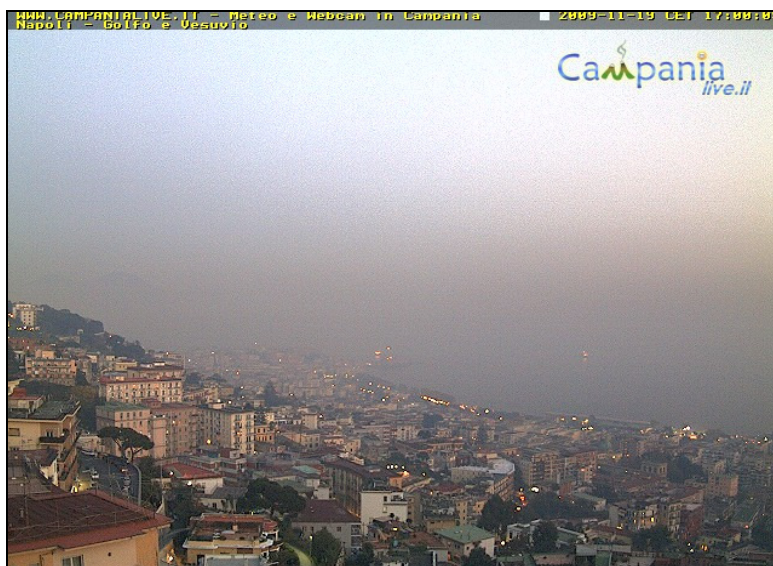


Foto N°7: NAPOLI - 19/11/2009 – Ore 17.00. Nella foto è visibile lo strato atmosferico a forte diffusione verticale caratterizzato da colorazione brunastra. Nelle tre ore successive (tra le 17.00 e le 20.00), presso la centralina dell’Ospedale Nuovo Pellegrini, si è misurato il valore medio record di PM_{10} , pari a $434 \mu g/m^3$.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Un altro aspetto che, stante la disponibilità dei dati a cadenza oraria forniti da ARPAC, si è ritenuto opportuno analizzare, è quello relativo alla variabilità nell’arco delle 24 ore dei valori delle concentrazioni. Di seguito si riporta l’andamento in forma diagrammale, dell’andamento delle concentrazioni nelle 24 ore di ciascuna delle centraline della rete ARPAC:

Diagramma N°4

Andamento nelle 24 ore della concentrazione media delle PM_{10}
Periodo 17- 22 novembre 2009

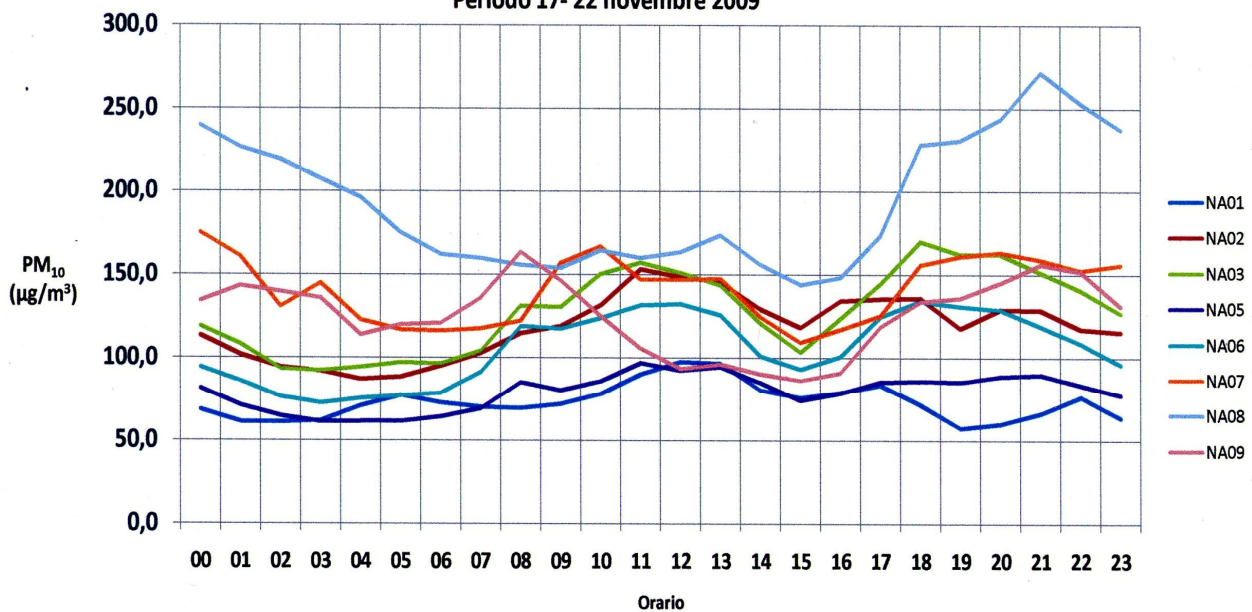
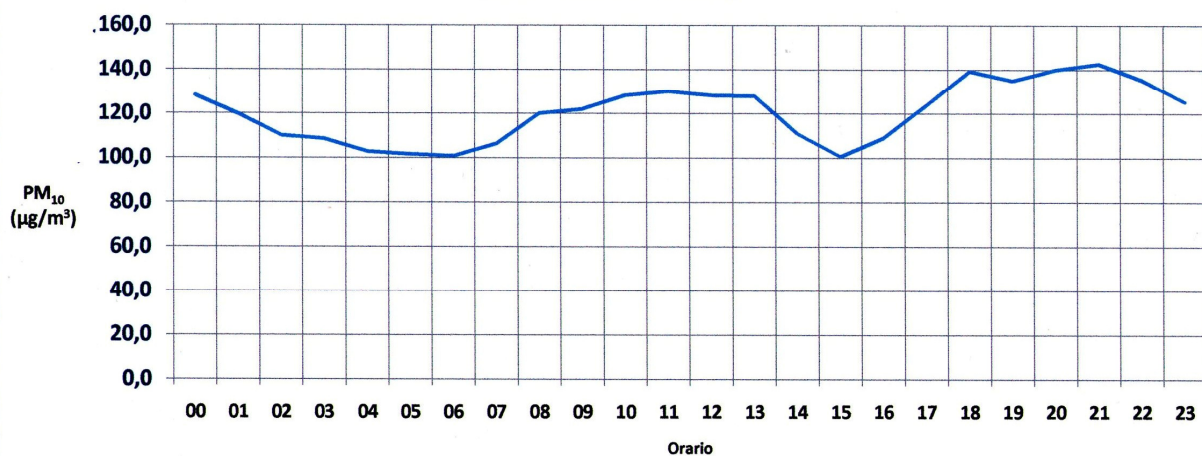


Diagramma N°5

Andamento nelle 24 ore della concentrazione media delle PM_{10}
Periodo 17- 22 novembre 2009
(valore mediato su intera rete)



Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

La valutazione numerica complessiva, ferme restando le specificità desumibili dall’analisi delle singole stazioni, porta ad affermare, che l’andamento giornaliero ha presentato due massimi e due minimi:

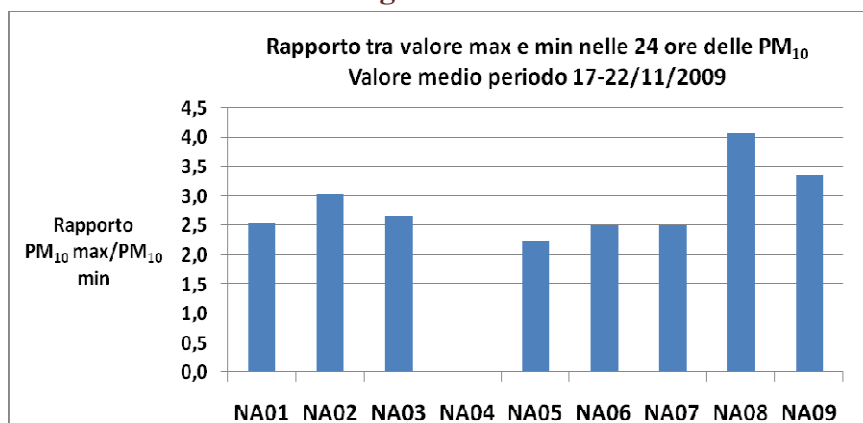
- 1) MAX principale : ore 21.00
- 2) MAX secondario: ore 11.00
- 3) MIN principale: ore 15.00
- 4) MIN secondario: ore 06.00

Questo risultato è rappresentativo del ruolo marginale che ha svolto il processo dell’“inversione termica al suolo” nell’area metropolitana di Napoli nella crisi di smog del novembre 2009, con la mancanza di un ben definito “cuscinetto” di aria fredda nei bassi strati. Unica centralina che ha risentito maggiormente di questo processo è quella ubicata in Via Argine, come è lecito attendersi da una centralina che si trovi in un’area periferica a vocazione industriale, aperta, peraltro, alle influenze della retrostante piana campana.

Poi, sempre con riferimento al periodo interessato dalla crisi di smog, si sono individuati i valori minimi e massimi nell’arco delle 24 ore, per ciascuna postazione di monitoraggio, e se ne è valutato il rapporto (V_{\max}/V_{\min}). Questo rapporto, indicativo dell’ampiezza del *range* dei valori, è rappresentativo della maggiore o minore predisposizione del sito di installazione a subire escursioni giornaliere significative dei tenori di inquinamento. Tale valore riveste una notevole importanza in quanto consente di avere una indicazione, seppur di massima, di quali potrebbero essere i valori di concentrazione massima noto il valore medio giornaliero (vedi Diagramma N°6).

Dalla tabella seguente si nota che le stazioni in aree collinari e/o fortemente urbanizzate hanno mostrato una maggiore tendenza all’uniformità dei valori, mentre la stazione di Via Argine, in quanto soggetta ad inquinamento da inversione termica nei bassi strati (fenomeno prettamente notturno) si è discostata da questa regola. Caso anomalo è quello della centralina dell’Ospedale Nuovo Pellegrini (NA08).

Diagramma N°6



Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

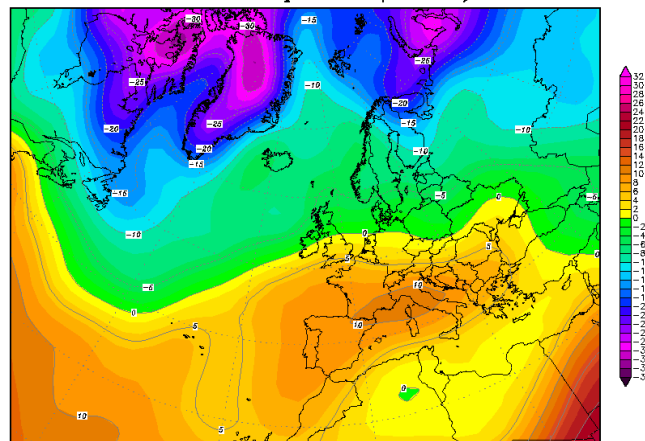
La CRISI DI SMOG dei giorni 6, 7, 8, 9, 10 e 11 febbraio 2011

Questa “crisi di smog” è stata causata da una poderosa espansione verso levante dell’Anticiclone delle Azzorre, iniziata il giorno 04/02/11 contestualmente all’allontanamento verso la Grecia di un vortice ciclonico. Dal 6 febbraio il campo anticiclonico si stabilisce con i propri massimi sul Mediterraneo centro-occidentale; tale struttura è chiaramente osservabile sulle carte di reanalisi di Wetterzentrale.

Giorno 6 febbraio 2011

06FEB2011 00Z

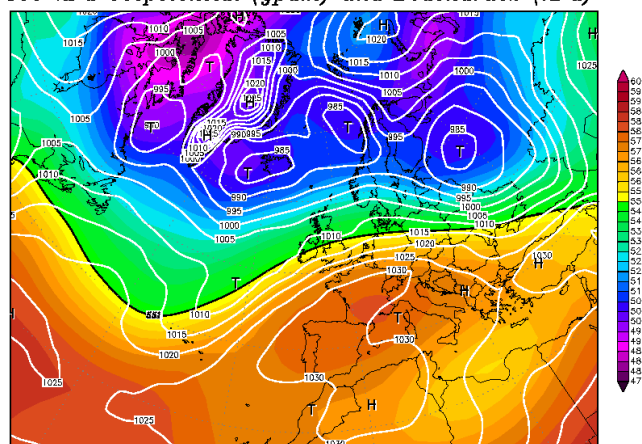
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

06FEB2011 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Commento carte meteorologiche del 6 febbraio 2011

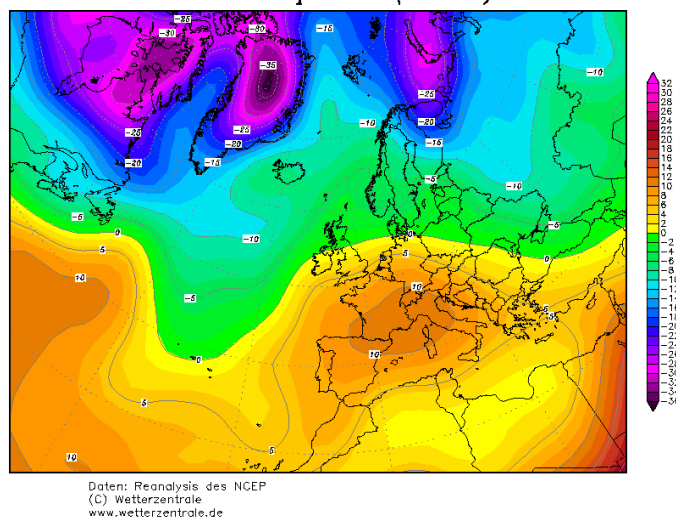
Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (circa 1027 hPa sulla Campania), con valori anomalmente elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5740 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch’essa elevata, con circa 9°C sulla verticale di Napoli.

Giorno 7 febbraio 2011

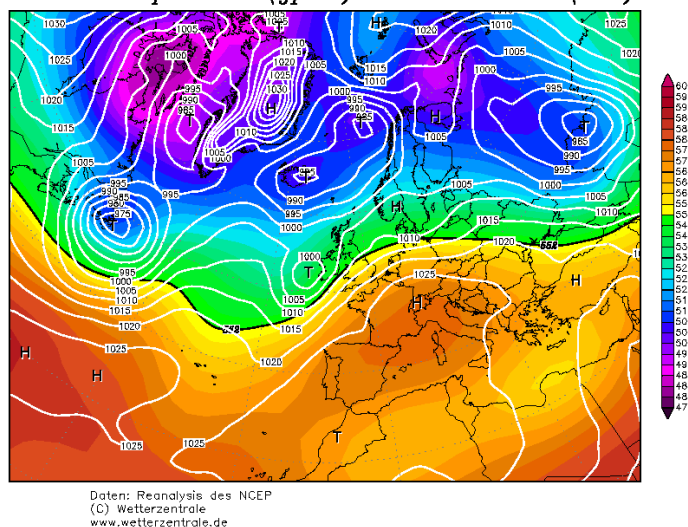
07FEB2011 00Z

850 hPa Temperatur (Grad C)



07FEB2011 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Commento carte meteorologiche del 7 febbraio 2011

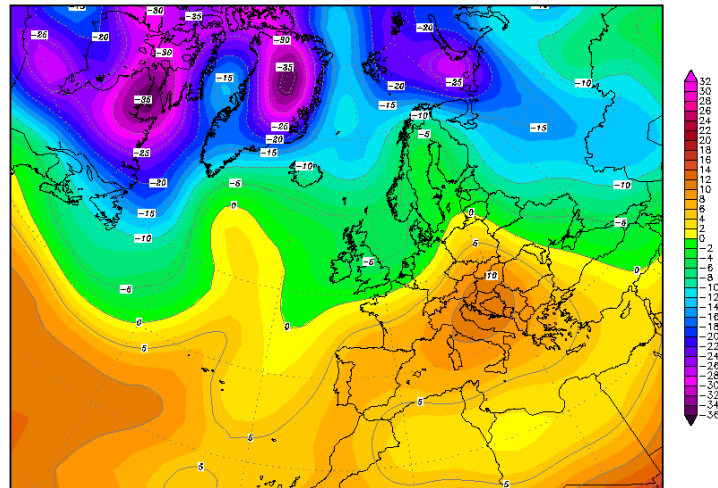
Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (circa 1027 hPa sulla Campania), con valori anomalmente elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5740 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch’essa elevata, con circa 9,5°C sulla verticale di Napoli.

Giorno 8 febbraio 2011

08FEB2011 00Z

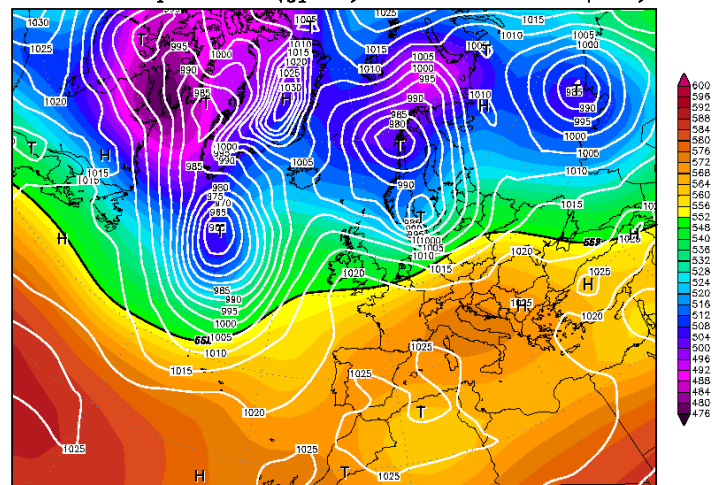
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

08FEB2011 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Commento carte meteorologiche dell’8 febbraio 2011

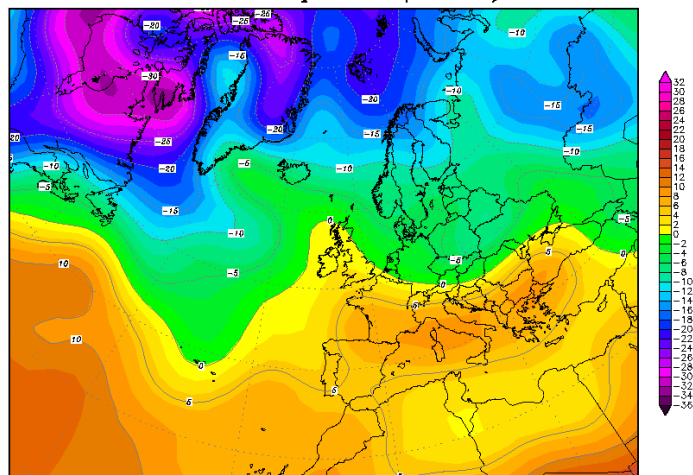
Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (circa 1023 hPa sulla Campania), con valori anomalmente elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5740 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch’essa elevata, con circa 10°C sulla verticale di Napoli.

Giorno 9 febbraio 2011

09FEB2011 00Z

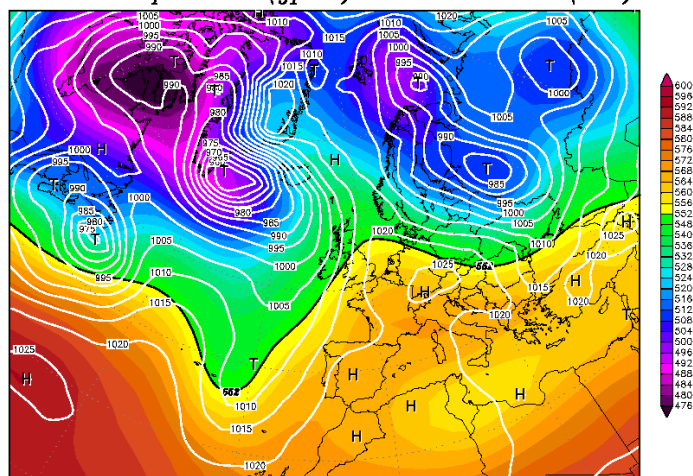
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

09FEB2011 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

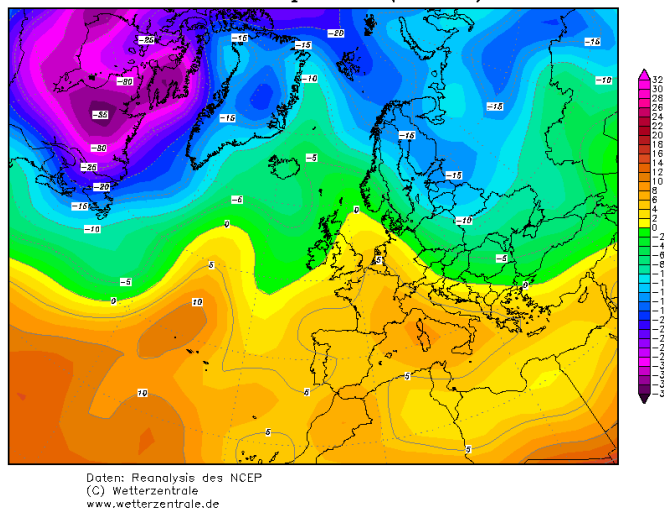
Commento carte meteorologiche del 9 febbraio 2011

Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (circa 1020 hPa sulla Campania), con valori elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5660 m). La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch’essa elevata, con circa 8,5°C sulla verticale di Napoli.

Giorno 10 febbraio 2011

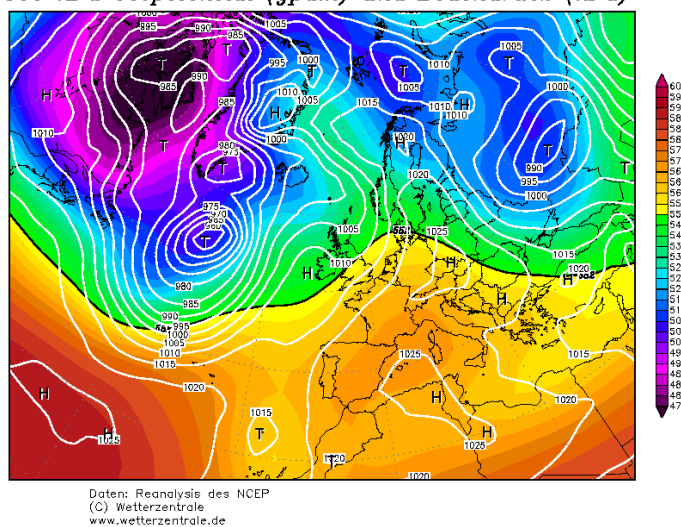
10FEB2011 00Z

850 hPa Temperatur (Grad C)



10FEB2011 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Commento carte meteorologiche del 10 febbraio 2011

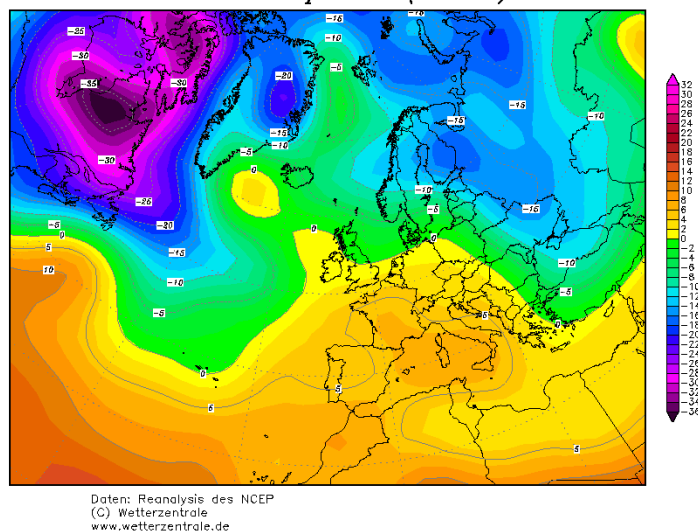
Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (circa 1023 hPa sulla Campania), con valori molto elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5660 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch’essa elevata, con circa 7°C sulla verticale di Napoli.

Giorno 11 febbraio 2011

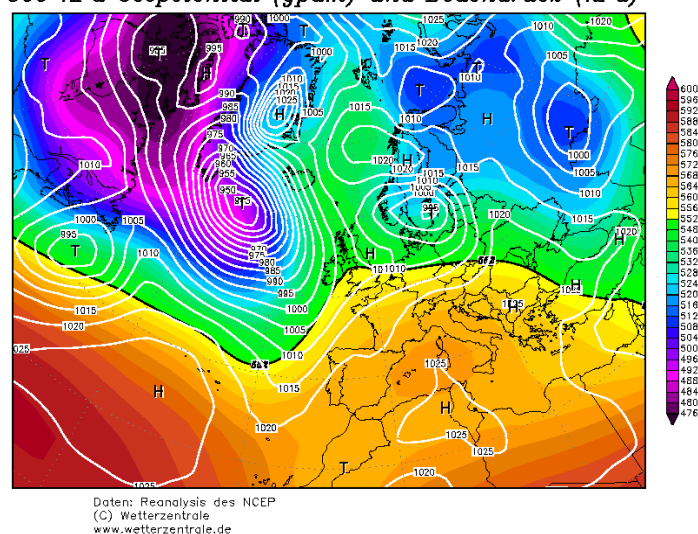
11FEB2011 00Z

850 hPa Temperatur (Grad C)



11FEB2011 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Commento carte meteorologiche dell’11 febbraio 2011

Le carte di reanalisi mostrano un campo di pressione alta e livellata sul Mediterraneo centrale (circa 1023 hPa sulla Campania), con valori elevati del geopotenziale della superficie isobarica 500 hPa (circa 5660 m).

La temperatura alla quota isobarica di 850 hPa è anch’essa elevata, con circa 7°C sulla verticale di Napoli.

Riportando in un’unica tabella i valori dei parametri meteorologici estratti dalle carte sinottiche di reanalisi di Wetterzentrale, si ha:

Tabella N°9: valori parametri meteorologici relativi ai giorni 6-11 febbraio 2011

Giorno	Pressione a l.m. (hPa)	Temperatura 850 hPa (°C)	Altezza 500 hPa (metri)
6 feb.	1027	9,0	5740
7 feb.	1027	9,5	5740
8 feb.	1023	10,0	5740
9 feb.	1020	8,5	5660
10 feb.	1023	7,0	5660
11 feb.	1023	7,0	5660

Al fine di valutare le condizioni di stabilità atmosferica, così come nel caso analizzato in precedenza, si è proceduto alla valutazione della temperatura potenziale θ alle quote:

- 50 m sul l.m.m. (centralina di S. Marcellino – Federico II)
- 250 m sul l.m.m. (centralina di Castel S. Elmo)
- 1500 m circa sul l.m.m. (valore acquisito da Wetterzentrale)

Tale valutazione la si è riferita alla giornata del 7 febbraio 2011, giornata caratterizzata dal maggior tasso di crescita dei livelli di inquinamento.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Tabella N°10: andamento termico verticale (T reale - T potenziale)

	Orario	Baro a l.m. (hPa)	T (°C)			θ (°C)		
			(50 m)	(250 m)	H850	(50 m)	(250 m)	H850
7-feb-11	1.00	1027	10,6	10,9	9,0	8,8	10,7	22,6
7-feb-11	8.00	1026	9,1	9,9	9,5	7,3	9,7	23,1
7-feb-11	16.00	1025	15,6	15,6	9,5	13,8	15,4	23,1
7-feb-11	22.00	1024	12,1	11,3	10,0	10,3	11,1	23,7
			11,9	11,9	9,5	10,1	11,8	23,1

Come è possibile constatare dalla tabella, esiste una condizione di inversione termica, poco marcata in termini di temperature reali ma ben evidente dai valori della temperatura potenziale, fattore corrispondente ad elevati livelli di stabilità atmosferica. Tale inversione termica si evidenzia in maniera ancor più evidente inserendo i dati in un diagramma cartesiano nel quale è riportata la curva del gradiente termico verticale relativo all’atmosfera standard.

Ferma restando la rappresentatività dei valori relativi a ciascun orario di campionamento, per la redazione del diagramma si sono utilizzati i valori medi giornalieri.

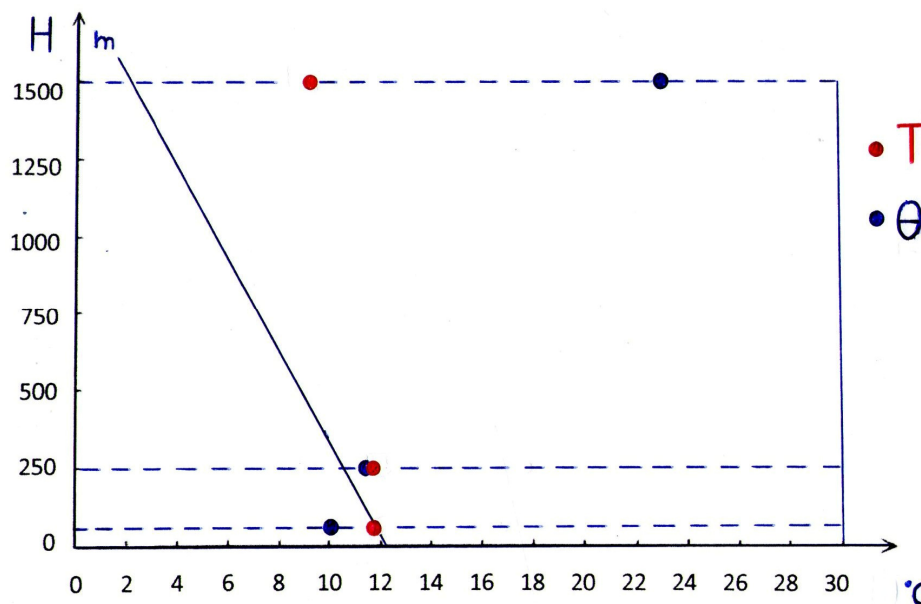


Diagramma N°7: andamento termico verticale “standard” (retta) e condizioni termiche reali (punti)

Come è possibile osservare, i punti rappresentativi della temperatura potenziale a 50, 250 e 1500 m sul l.m.m. sono posizionati alla destra della retta relativa al normale gradiente termico verticale

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

(adiabatico in aria secca), ad eccezione degli strati più bassi. Stessa considerazione è valida per la temperatura reale.

A questo quadro, così come sopra inquadrato dal punto di vista meteorologico, si è associato il seguente andamento dei livelli di concentrazione di PM₁₀ :

Tabella N°11: crisi di smog dei giorni da 6 a 11 febbraio 2011: valori medi giornalieri PM₁₀

	NA01	NA02	NA03	NA04	NA05	NA06	NA07	NA08	NA09
06 feb.	155	-	82	-	112	91	81	155	126
07 feb.	223	-	125	-	156	120	106	239	174
08 feb.	282	-	166	-	189	146	143	273	227
09 feb.	280	-	168	-	214	172	173	218	175
10 feb.	239	-	142	-	176	138	111	189	131
11 feb.	147	-	85	-	102	90	87	130	116
Media	221	-	128	-	158	126	117	201	158

Come è possibile desumere dalla precedente tabella, nel periodo dal 6 all’11 febbraio 2011, tutte le centraline in esercizio hanno misurato, costantemente, un valore medio giornaliero superiore a 50 µg/m³, con situazioni estreme presso l’Osservatorio Astronomico di Capodimonte e presso l’Ospedale Nuovo Pellegrini, nei giorni 7, 8 e 9.

I dati orari forniti da ARPAC hanno reso possibile individuare le *focus phases*, quelle di raggiungimento dei massimi livelli di inquinamento dell’intera crisi di smog. Esse ricadono nel giorno 8 febbraio e, a seconda delle centraline, in fasce orarie diverse. I valori raggiunti vengono riportati nella seguente tabella:

Tabella N°12: valori orari massimi della concentrazione PM₁₀ (giorno 08/02) .

Centralina di monitoraggio ARPAC	µg/m ³	Data	Ora
Oss. Astronomico Capodimonte (Salita Moiariello)	409	8 feb.	04.00
Ospedale Santobono (Via M. Fiore)	-	-	-
Primo Policlinico (Piazza Miraglia)	220	8 feb.	12.00
Scuola Media A. Doria ex Silio Italico (Via G. Cesare)	-	-	-
Scuola Elementare Vanvitelli (Via L. Giordano)	278	8 feb.	12.00
Museo Nazionale	181	8 feb.	22.00
Ferrovie dello Stato (Corso Novara)	212	8 feb.	05.00
Ospedale Nuovo Pellegrini (Via F. M. Briganti)	455	8 feb.	04.00
I.T.I.S. San Giovanni (Via Argine)	431	8 feb.	05.00

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

I dati della tabella N°7 consentono di affermare che le centraline dell’area orientale di Napoli sono esposte ad una forma di inquinamento dovuto, principalmente, al processo dell’inversione termica, con massimi nella parte finale della notte. Il picco di oltre 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ misurato dalla centralina di Capodimonte potrebbe essere stato causato dalla posizione altimetrica della stessa, posta in prossimità del limite superiore della fascia di inversione termica (tetto dell’inversione), fascia ove tendono ad accumularsi gli inquinanti soggetti a “spinta di galleggiamento” su base prevalentemente termica.

Le foto seguenti (Foto N°8 e N°9) rendono evidenza delle diverse forme di inquinamento in coazione sull’area metropolitana di Napoli nei giorni 6 e 7 febbraio 2011.



Foto N°8: NAPOLI – 06/02/2011 - ore 17.00. Nella foto è visibile uno strato atmosferico caratterizzato da colorazione rossastra, a concentrazione di inquinanti crescente verso il basso; col sopraggiungere delle ore notturne questo strato tende a “schiacciarsi” verso il suolo portando ad un incremento delle concentrazioni negli strati a contatto con esso.

Tesi di Dottorato:

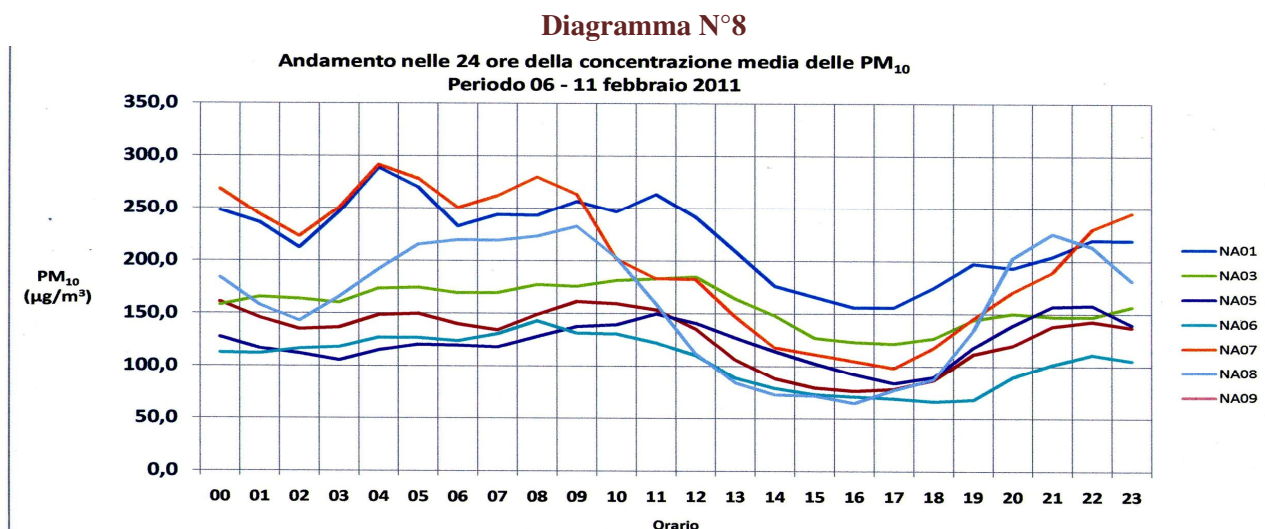
“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”



Foto N°9: NAPOLI – 07/02/2011 - ore 07.00. Nella foto è visibile lo strato atmosferico caratterizzato da elevata concentrazione di inquinanti e da forte presenza di umidità, con suolo bagnato (Smog riducente o di Londra).

Anche in questo caso, stante la disponibilità dei dati a cadenza oraria forniti da ARPAC, si è analizzato l'andamento nell'arco delle 24 ore dei valori delle concentrazioni.

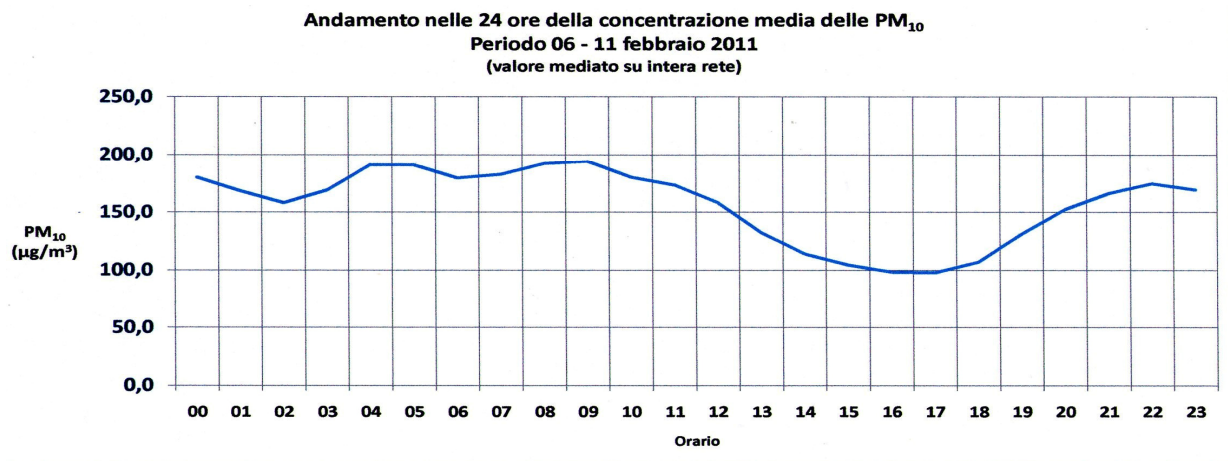
Di seguito si riporta, in forma diagrammatica, l'andamento delle concentrazioni nelle 24 ore di ciascuna delle centraline della rete ARPAC:



Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Diagramma N°9



La valutazione numerica complessiva, ferme restando le specificità desumibili dall’analisi delle singole stazioni, porta ad affermare che l’andamento giornaliero ha presentato diversi massimi ed un unico minimo ben definito:

- 1) MAX principale : ore 09.00
- 2) MAX secondari: ore 22.00 – 04.00
- 3) MIN principale: ore 16.00 – 17.00
- 4) MIN secondario: ore 02.00

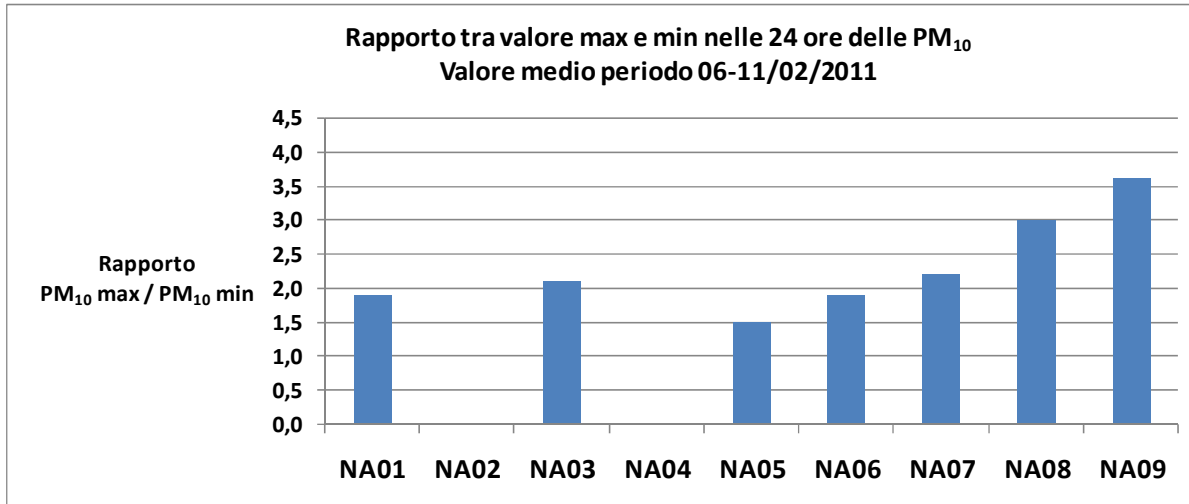
Questo risultato, a differenza di quanto osservato in occasione della crisi di smog del novembre 2009, è rappresentativo di una maggiore influenza del processo dell’inversione termica al suolo nella fase stagionale più fredda dell’anno. Infatti, si nota che i valori di concentrazione degli inquinanti nella fase notturna e del primo mattino (dalle 22.00 sino alle 10.00 del giorno seguente) sono nettamente più elevati che non nelle ore diurne (dalle 10.00 alle 22.00), nelle quali l’inversione termica al suolo è assente. Pur non entrando specificamente nello studio, è da ipotizzare una diluizione meccanica (in termini di dispersione degli inquinanti) da parte del regime anemologico su base termica che si innesca sulla fascia costiera partenopea in caso di giornate serene, con attivo soleggiamento. In questo caso si manifesta, quindi, una più equilibrata coazione dei due fattori “inversione termica” e “effetto pistone”.

Poi, sempre con riferimento al periodo interessato dalla crisi di smog, si sono individuati i valori minimi e massimi nell’arco delle 24 ore, per ciascuna postazione di monitoraggio, e se ne è valutato il rapporto (V_{\max}/V_{\min}).

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Diagramma N°10



Dal diagramma si nota che le stazioni in aree collinari e/o fortemente urbanizzate sono soggette ad una maggiore tendenza all'uniformità dei valori, mentre le stazioni nella parte orientale di Napoli, in quanto maggiormente esposte al processo di inversione termica nei bassi strati (fenomeno, come più volte detto, prettamente notturno) si discostano da questo comportamento.

Analisi dei diagrammi di correlazione tra concentrazioni PM₁₀ e grandezze meteo-sinottiche.

Di seguito si riporta l'elenco dei diversi parametri individuati quali significativi ai fini di una loro prevedibile influenza sull'andamento delle concentrazioni, seguito poi dai diagrammi di correlazione tra essi ed i valori di concentrazione di PM₁₀.

I parametri selezionati sono:

- 1) la quota sul livello del mare della superficie isobarica 850 hPa
- 2) la temperatura in corrispondenza della superficie isobarica 850 hPa
- 3) la quota sul livello del mare della superficie isobarica 700 hPa
- 4) la temperatura in corrispondenza della superficie isobarica 700 hPa
- 5) la quota sul livello del mare della superficie isobarica 500 hPa
- 6) la temperatura in corrispondenza della superficie isobarica 500 hPa

I parametri indagati sono affetti, ovviamente, da una variazione stagionale, con una curva di rappresentazione assimilabile ad una sinusoidale. In alcuni dei diagrammi, seppur relativi ad un periodo non particolarmente lungo (3 feb.-10 apr.), si ha evidenza di questo comportamento.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Questo significa che un determinato valore di geopotenziale o di temperatura, per poter essere valutato quantitativamente, deve necessariamente essere posto in correlazione con la fase stagionale al quale esso si riferisce (es.: un geopotenziale di 5800 m della superficie isobarica 500 hPa, in inverno costituiscono un valore eccezionalmente elevato mentre sono un valore normale nella stagione estiva).

Al fine di tenere conto di questo aspetto, si è presa in considerazione la legge standard di variazione annuale dei diversi fattori; in tal modo le analisi sono state effettuate non più sui valori assoluti quanto sulle differenze tra i valori effettivi (misurati nel giorno i-esimo) e quelli teorici relativi al medesimo giorno.

I parametri risultanti da questa operazione sono i seguenti:

- 1) $\Delta H_{850} = H_{850(t)} - H_{850(eff)}$ (differenza di quota tra la superficie isobarica 850 hPa teorica e quella effettiva);
- 2) $\Delta T_{850} = T_{850(t)} - T_{850(eff)}$ (differenza tra valore teorico ed effettivo della temperatura alla quota isobarica di 850 hPa);
- 3) $\Delta H_{700} = H_{700(t)} - H_{700(eff)}$ (differenza di quota tra la superficie isobarica 700 hPa teorica e quella effettiva);
- 4) $\Delta T_{700} = T_{700(t)} - T_{700(eff)}$ differenza tra valore teorico ed effettivo della temperatura alla quota isobarica di 700 hPa);
- 5) $\Delta H_{500} = H_{500(t)} - H_{500(eff)}$ (differenza di quota tra la superficie isobarica 500 hPa teorica e quella effettiva);
- 6) $\Delta T_{500} = T_{500(t)} - T_{500(eff)}$ (differenza tra valore teorico ed effettivo della temperatura alla quota isobarica di 500 hPa).

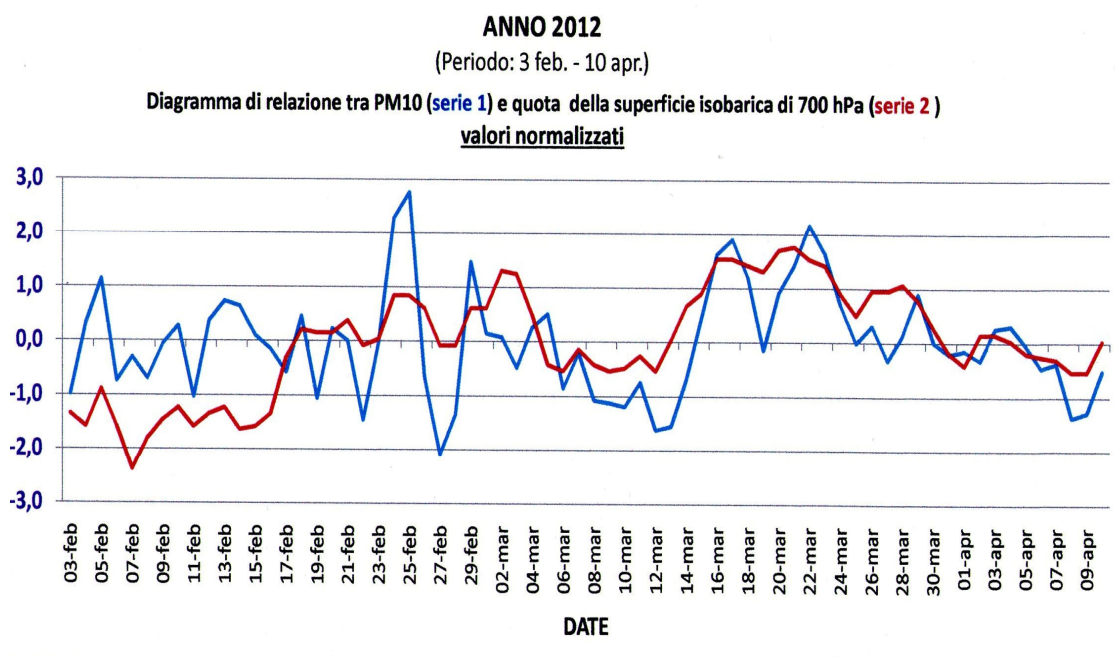
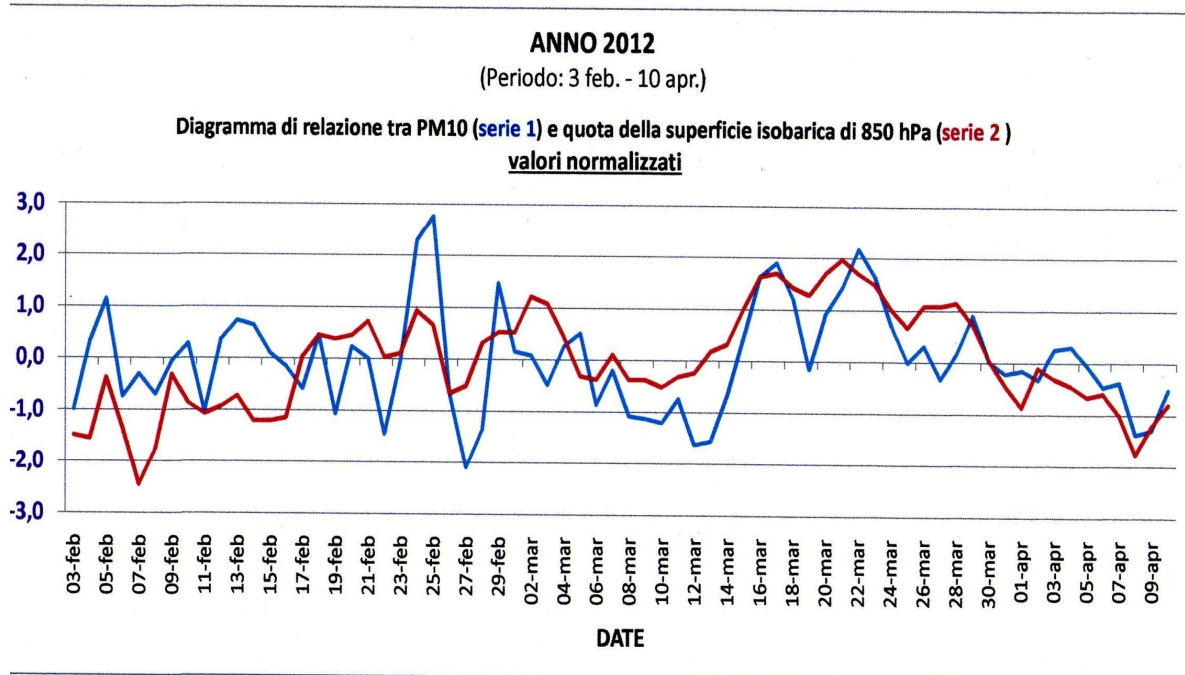
Di seguito si riportano le relative rappresentazioni grafiche, sia in termini diagramma lineare sia di grafico a dispersione. Con riferimento ai diagrammi lineari, stante il diverso ordine di grandezza tra i valori di PM_{10} e quelli relativi ai parametri indagati, si è proceduto ad una normalizzazione delle serie numeriche.

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

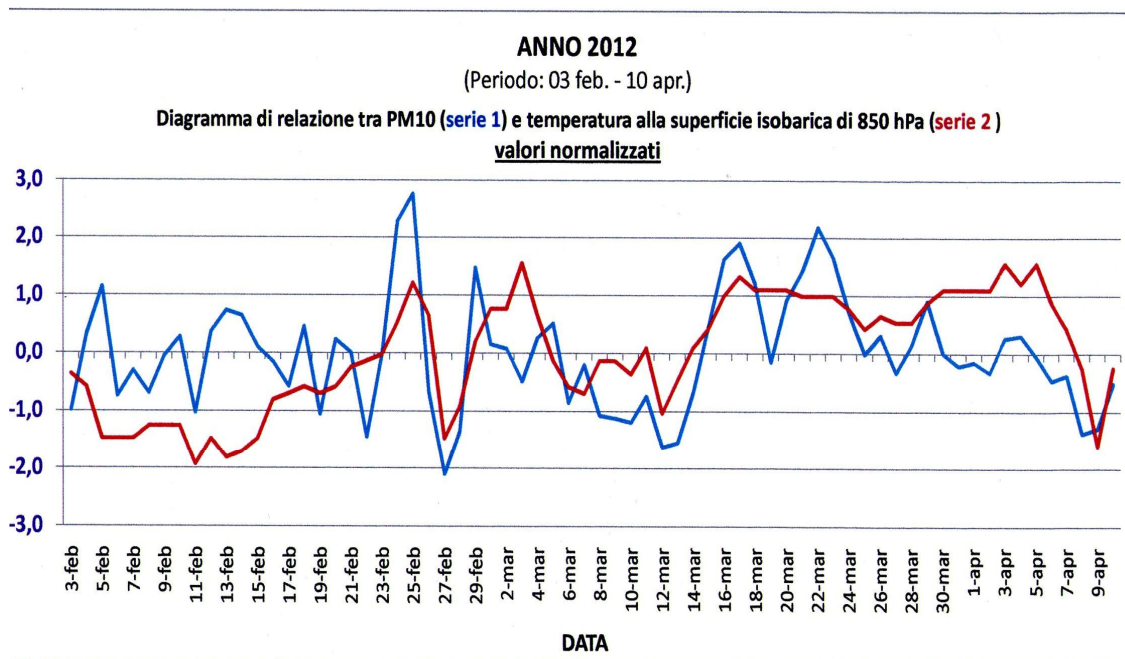
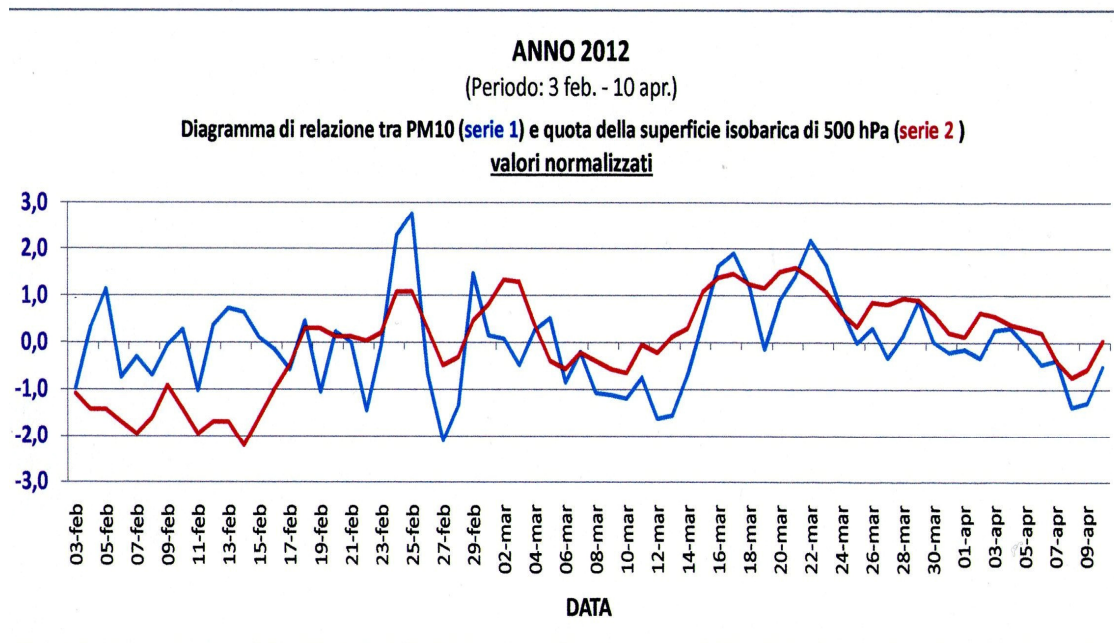


Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

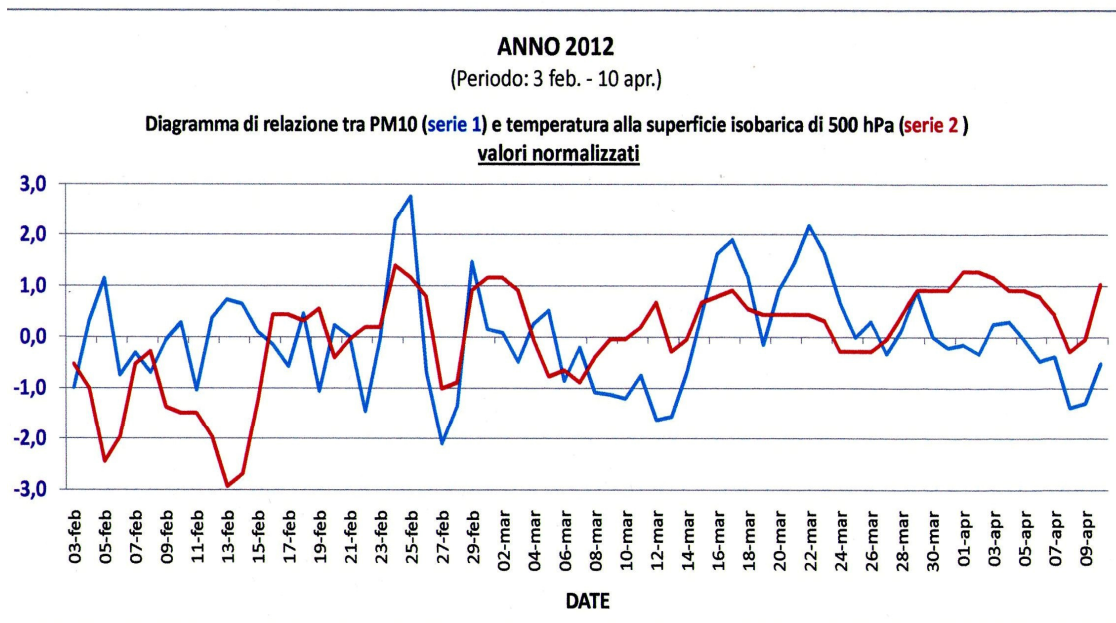
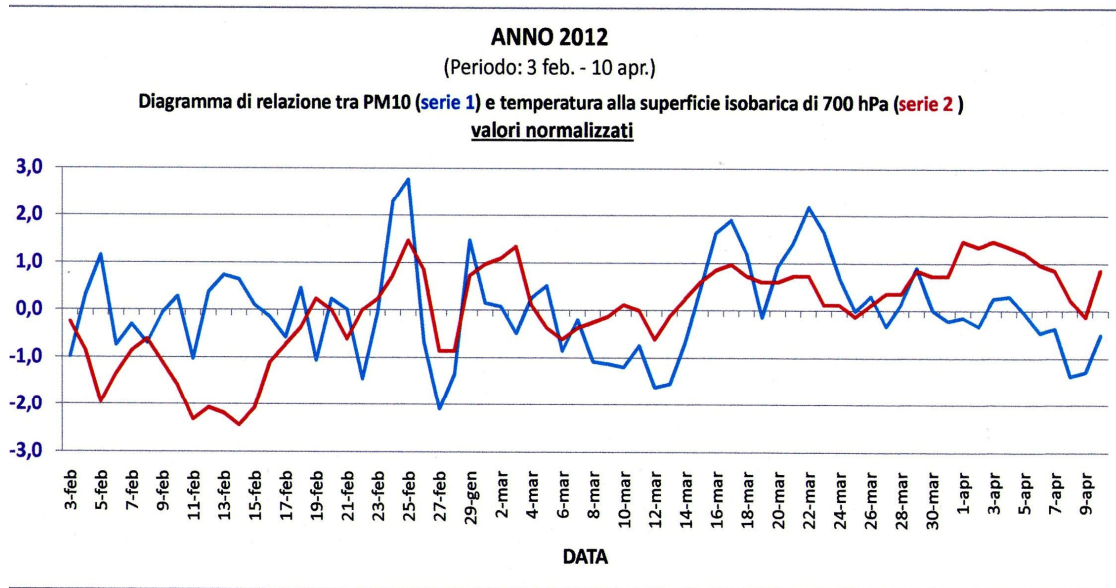


Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

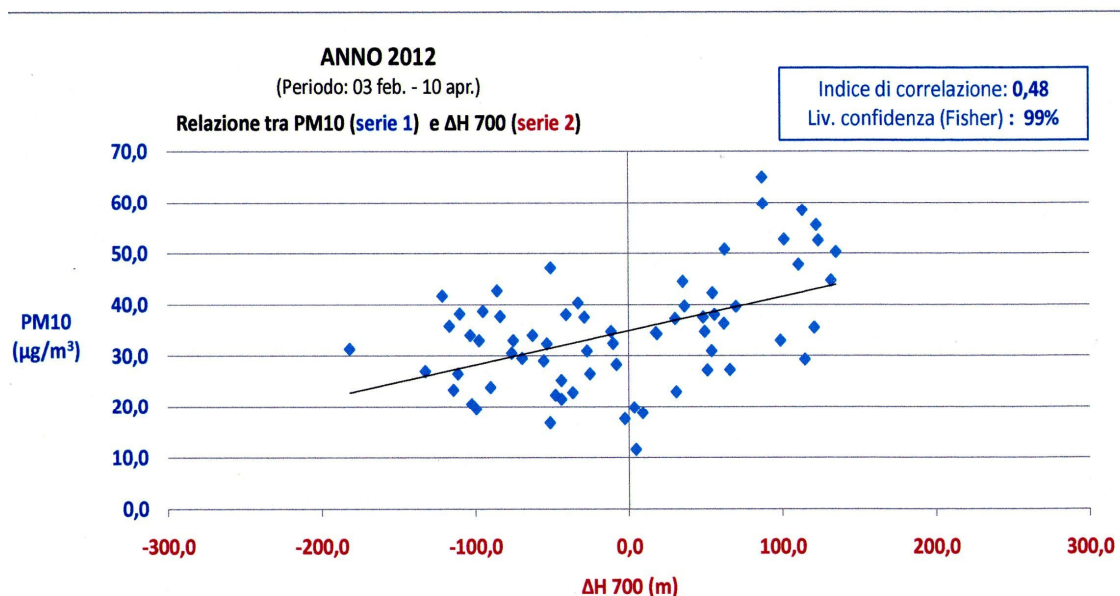
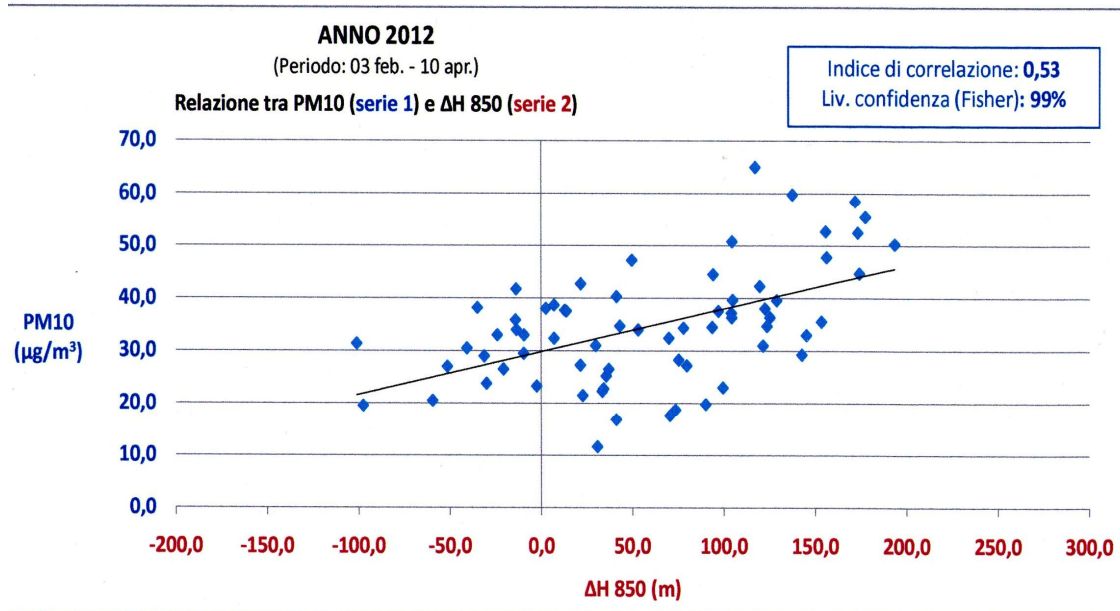
Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”



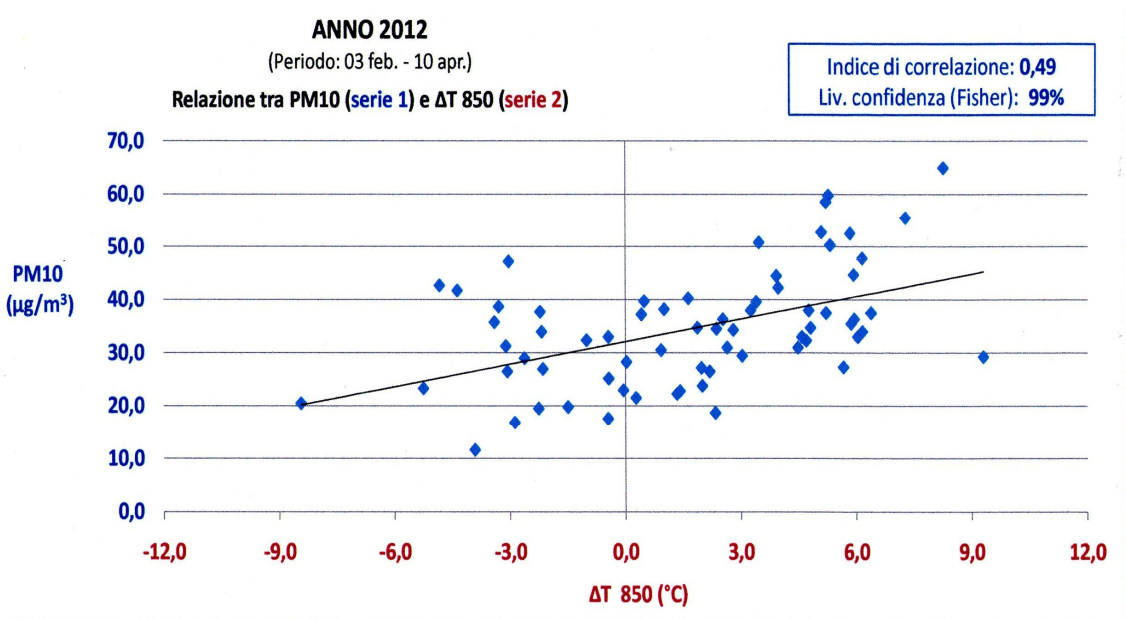
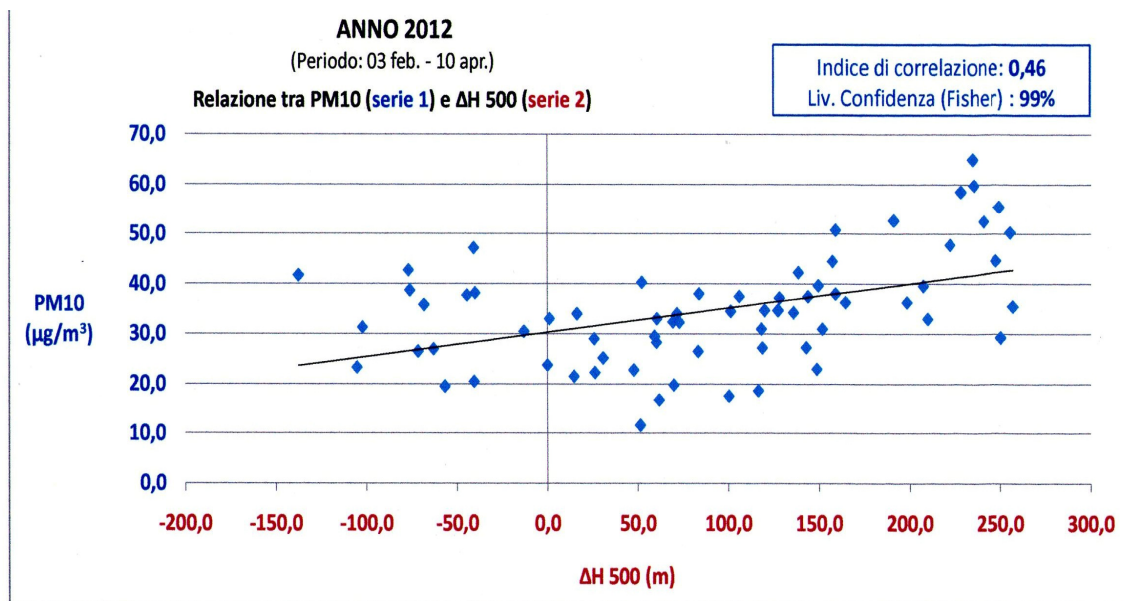
Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”



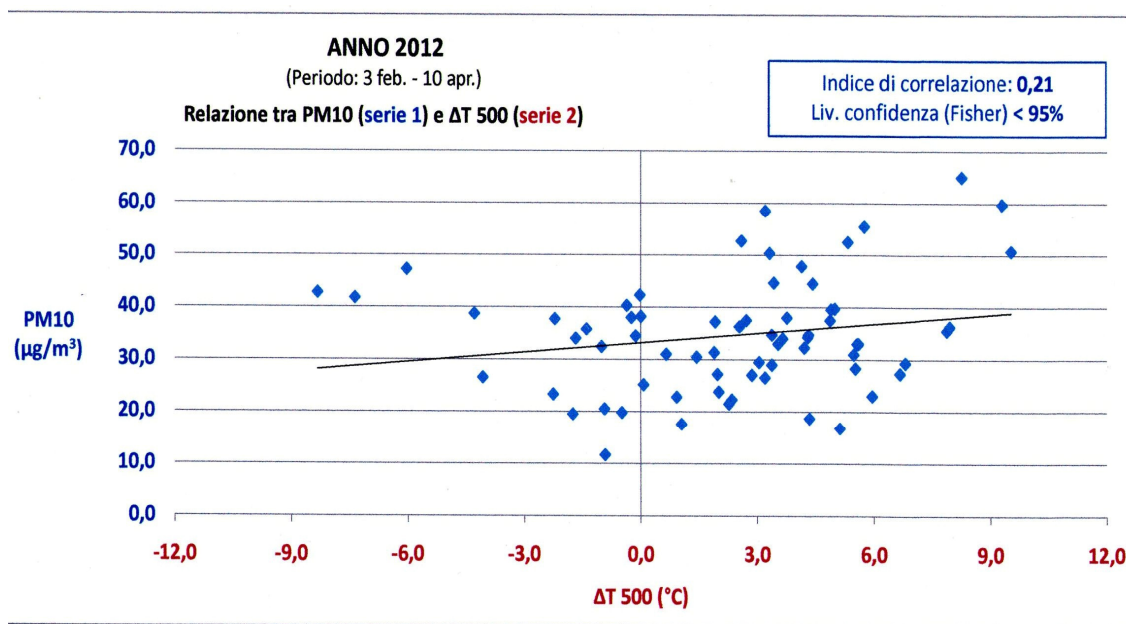
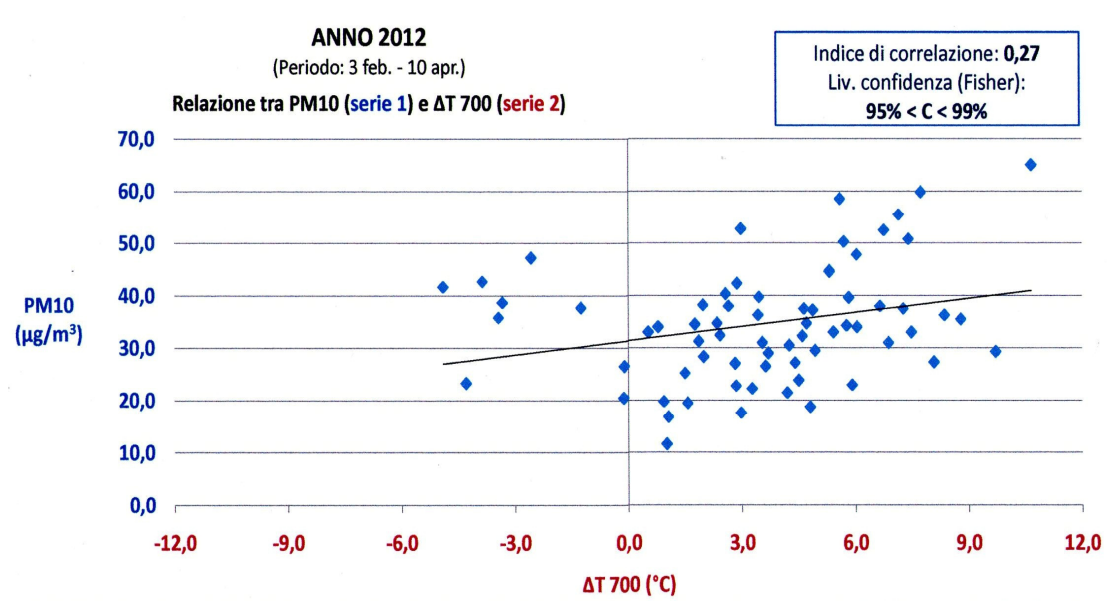
Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”



Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”



Il parametro meteorologico che mostra il maggior livello di correlazione con le concentrazioni di PM_{10} è la disposizione altimetrica della superficie isobarica 850 hPa: quanto più essa si trova a quote elevate tanto maggiore risulta la tendenza all’incremento dei valori di concentrazione degli inquinanti. Stesso discorso vale anche per i parametri $\Delta H700$ e $\Delta H500$; è quindi possibile affermare che le crisi di smog si concretizzano in presenza di elevati “spessori” tra le superfici isobariche relative alle quote medio-basse della troposfera (1000-850, 1000-700, 1000-500 hPa).

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Di seguito si riportano in forma tabellare i livelli correlazione ottenuti:

Tabella N°13: Indici di correlazione tra PM10 e parametri meteorologici

	Ic	L. confid.
ΔH850	0,53	99%
ΔH700	0,48	99%
ΔH500	0,46	99%
ΔT850	0,49	99%
ΔT700	0,27	95% < Lc < 99%
ΔT500	0,21	< 0,95%

Ipotesi di strategie per il contenimento dei livelli di inquinamento atmosferico

Il lavoro di tesi, nel suo insieme, ha messo in evidenza alcune aspetti interessanti ma poco noti, la cui utilizzazione può portare ad un netto miglioramento della qualità della previsione dell’andamento dei livelli di inquinamento atmosferico.

Il passaggio cruciale è il seguente: per poter contrastare il fenomeno dell’inquinamento atmosferico nell’area metropolitana di Napoli, mitigandone il perverso impatto sulla popolazione residente, è necessario il passaggio obbligato della previsione, quanto più precisa possibile, di alcuni parametri meteorologici a scala sinottica.

Le previsioni meteorologiche costituiscono un importante aspetto della Protezione Civile: i nubifragi, il rischio idrologico ed idrogeologico, il “rischio neve”, le ondate di calore e di gelo, ecc., sono tutte criticità la cui possibilità di gestione ottimale passa attraverso la conoscenza, possibilmente approfondita, del tempo che farà. I modelli fisico-matematici consentono di prevedere, in termini probabilistici, dove, quando e quanto pioverà. Abbondanti piogge possono causare problemi sul territorio, con dissesti, allagamenti, movimenti franosi, straripamenti di corsi d’acqua: tutte queste tipologie di evento hanno, generalmente, una forte localizzazione; in altri termini, è ben noto quali sono le aree che, per loro collocazione e caratteristiche geo-morfologiche, potrebbero essere interessate.

Una “crisi di smog” è da considerarsi, parimenti, un evento di enorme portata in termini di Protezione Civile, in quanto il coinvolgimento non è relativo solo a poche unità della popolazione ma riguarda l’intera comunità.

I decessi per le conseguenze dell’inquinamento atmosferico, come detto nella parte introduttiva del presente lavoro, sono numerosissimi. In termini di impatto mediatico, però, fa più notizia la morte

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

“in diretta” televisiva a seguito di un’alluvione (si ricordino i casi degli alluvioni di Roma, delle Cinque Terre e di Genova nell’autunno 2011), con le immagini di persone trascinate dall’onda di piena. Le immagini dei soggetti colpiti da tumore al polmone, per fortuna, è molto difficile che vengano proposte dai *mass media*.

Il lavoro di tesi ha confermato che le condizioni meteorologiche svolgono un ruolo determinante nell’evoluzione dei fenomeni di inquinamento. Su questo punto, volendosi soffermare al semplice legame di tipo “causa-effetto”, sarebbe anche bastato porsi la seguente domanda: “ Ma se il parco veicoli circolanti a Napoli è praticamente sempre lo stesso, come mai alcuni giorni si misurano concentrazioni degli inquinanti pari a cinque o più volte quelli medi?” e far seguire, poi, un semplice ragionamento di tipo logico-deduttivo.

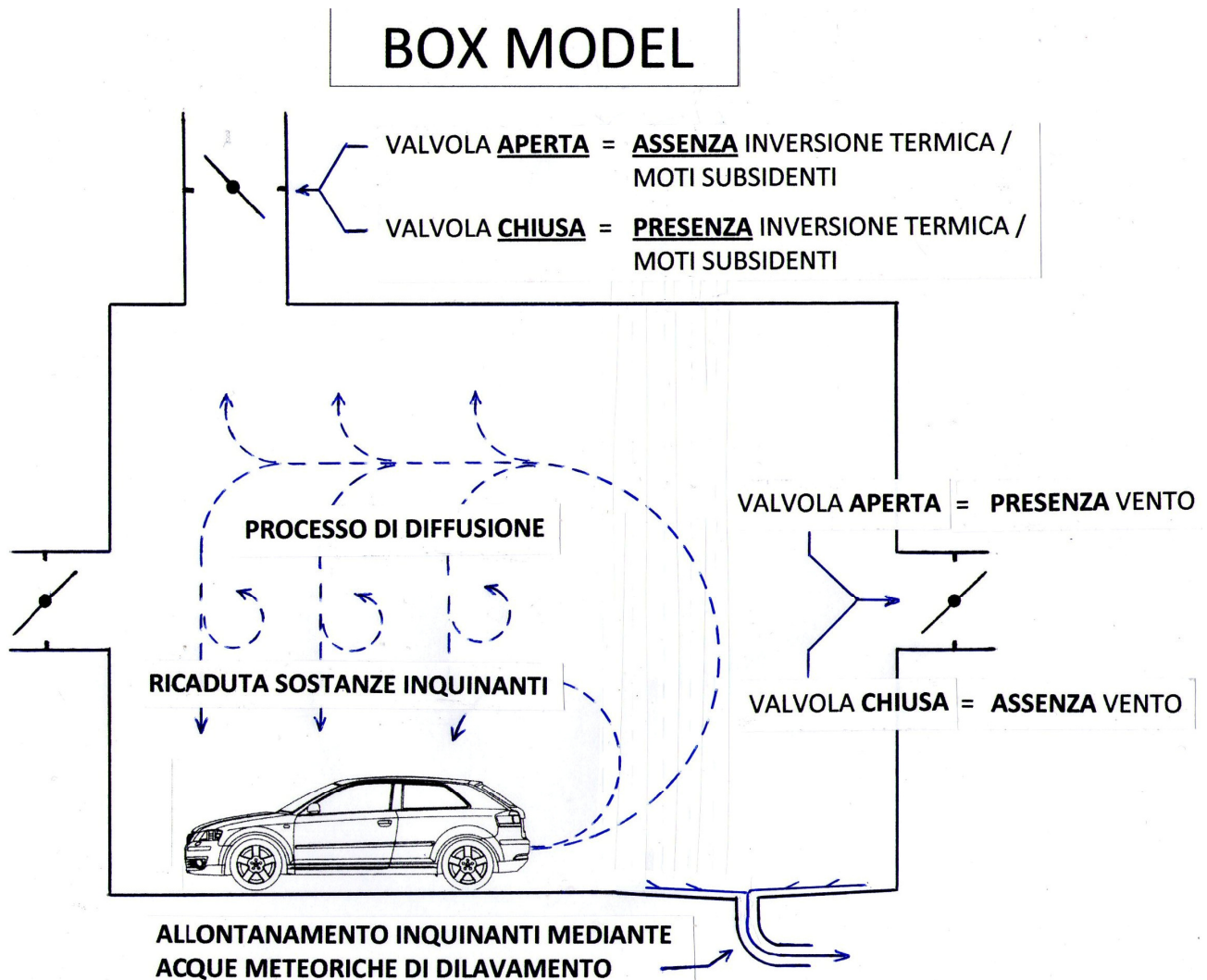
L’area metropolitana di Napoli può essere schematizzata secondo un BOX MODEL (modello a scatola). Immaginiamo che tale BOX corrisponda ad una sala riunioni e che in essa si svolga una riunione che inizia alle 9.00 e finisce alle 12.00, alla quale partecipano 10 persone, tutte fumatrici. Ipotizziamo che in questa sala siano presenti alcune finestre e un soffitto apribile.

Un giorno i presenti decidono di tenere tutto aperto, finestre e soffitto. In quella giornata chi entrasse in quella stanza, anche a fine mattinata, se non vedesse le colonne di fumo alzarsi dalle sigarette accese, potrebbe anche pensare che nessuno abbia fumato nelle ore immediatamente precedenti. Se invece si tenesse tutto chiuso, già alle 10.00 l’atmosfera nella sala sarebbe totalmente invasa dal fumo.

E’ possibile fare un parallelismo quasi perfetto tra quello che è il comportamento della sala nei confronti del fumo delle sigarette e quello che è il comportamento del volume atmosferico che sovrasta Napoli nei confronti delle emissioni inquinanti. Ci sono dei processi atmosferici che corrispondono perfettamente al tenere chiuso il soffitto ed altri al tenere chiuse le finestre (subsidenza, inversione termica al suolo = soffitto chiuso; assenza di vento = finestre chiuse).

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”



Il fattore meteorologico a scala sinottica non è, però, condizionabile in alcun modo.

L'unico indirizzo sul quale è, quindi, possibile operare è quello di ridurre le immissioni di “carico inquinante” nel BOX. L'esperienza ci informa del fatto che una limitazione parziale (per fascia oraria) del traffico veicolare non comporta alcun apprezzabile effetto. L'azione dovrebbe assumere caratteristiche di “totalità” e “trasversalità”, con il blocco totale di ogni attività umana: traffico veicolare, impianti di riscaldamento, industrie, imprese artigiane, ecc.. A quel punto, nella “sala riunioni”, finestre e soffitto sono chiusi, ma non c'è nessun fumatore. Peraltro nei giorni precedenti qualcuno avrebbe comunque dovuto provvedere a far “cambiare l'aria”, aprendo le finestre (il vento).

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Al fine di dimostrare che i dispositivi di limitazione del traffico hanno una modesta efficacia in termini di contenimento dell’inquinamento, si riportano alcune tabelle (fonte dati: ARPAC) contenenti i dati orari, relative a N°3 centraline della rete di monitoraggio.

I provvedimenti di limitazione del traffico in vigore o posti in essere nei periodi in cui si sono manifestate le Crisi di Smog erano:

- **novembre 2009**
 - a) **O.S. N°1401 del 20/11/2009** (a breve termine), valida per i giorni 21 (fascia oraria: 15.00-20.00), 22 (fascia oraria: 10.00-13.00), 23 novembre 2009 (fascia oraria: 07.30-13.00);
- **febbraio 2011:**
 - a) **DGC N°2285 del 31/12/2010**, valida per tutto l’anno 2011, con divieto programmato di circolazione nelle giornate di lunedì, mercoledì e venerdì nella fascia oraria 07.30-10.30 e nella giornata di giovedì nella fascia oraria 15.00-17.30 per le auto non “euro 4 / GPL / Metano”;
 - b) **O.S. N°211 del 09/02/2011** (a breve termine), valida per i giorni 10 e 11/02/2011, con divieto di circolazione nella fascia oraria 07.30 – 17.30:

Le centraline sono state scelte secondo un criterio che tiene conto della collocazione sul territorio:

1. NA01 - centralina di Capodimonte (ubicata nel giardino dell’Osservatorio Astronomico, in zona basso-collinare sufficientemente lontana da fonti di inquinamento - Tipo A);
2. NA05 - centralina di Via Luca Giordano (zona collinare fortemente urbanizzata – Tipo C);
3. NA08 – centralina Ospedale Nuovo Pellegrini in via F. M. Briganti, situate in periferia o in aree suburbane - Tipo D).

Per ciascuna stazione si faranno alcune osservazioni di carattere qualitativo, in attesa di più approfondite indagini statistico-matematiche. In verde sono riportate le fasce orarie “ecologiche”, con divieto di circolazione per le autovetture non euro 4/ GPL/ Metano.

Dopo ciascuna tabella si riporta una ulteriore tabella contenente i seguenti valori:

- 1) Valore PM_{10} massimo giornaliero (**A**)
- 2) Valore PM_{10} medio nella fascia di limitazione del traffico veicolare (**B**)
- 3) Valore PM_{10} medio nella fascia trioraria immediatamente a valle della fascia di limitazione del traffico veicolare (**C**)
- 4) Valore PM_{10} medio giornaliero (**D**)

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

NOVEMBRE 2009

Centralina NA01 – Osservatorio Astronomico di Capodimonte

ora	17 - nov Martedì	18 - nov Mercoledì	19 - nov Giovedì	20 - nov Venerdì	21 - nov Sabato	22 - nov Domenica	
1	48	39	98	75	59	85	67
2	44	41	101	83	59	78	68
3	38	40	98	76	87	68	68
4	63	43	92	85	100	63	74
5	63	55	77	60	129	79	77
6	48	59	85	63	128	65	75
7	46	48	78	92	102	62	71
8	44	46	77	100	95	62	71
9	47	72	56	98	99	60	72
10	52	70	78	91	117	61	78
11	43	80	117	102	141	57	90
12	37	92	131	109	151	60	97
13	34	98	147	118	121	63	97
14	30	100	138	121	59	54	84
15	30	95	131	122	55	41	79
16	33	89	126	134	60	42	81
17	39	106	131	130	64	53	87
18	44	95	104	97	50	63	76
19	52	97	86	47	49	53	64
20	49	92	82	61	58	50	65
21	51	103	99	59	66	57	73
22	69	108	114	65	64	69	82
23	45	102	106	55	61	50	70
24	37	103	93	54	93	48	71

Valore A	69	108	147	134	151	85
Valore B	-	-	-	-	56	60
Valore C	-	-	-	-	64	46
Valore D	45	78	102	87	86	60

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Osservazioni su Crisi di Smog del NOVEMBRE 2009

Centralina Capodimonte

Giorno 17/11/2009: non è possibile fare alcuna considerazione in quanto giornata di transizione tra la fase caratterizzata da valori normali e quella corrispondente alla Crisi di Smog.

Giorno 18/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($104 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 21.00 e le 24.00.

Giorno 19/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($139 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 11.00 e le 14.00.

Giorno 20/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($129 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 14.00 e le 17.00.

Giorno 21/11/2009: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 15.00 e le 20.00. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($138 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 10.00 e le 13.00. Le concentrazioni sono inferiori ($56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nella fase di limitazione della circolazione (ore 15.00-20.00) che non in quella trioraria immediatamente successiva ($64 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase caratterizzata dalla Crisi di Smog e quella con valori normali, nella quale il fattore rimescolamento indotto dal vento assume una notevole rilevanza, mascherando gli altri fattori in grado di condizionare le concentrazioni di PM_{10} .

Giorno 22/11/2009: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 10.00 e le 13.00. Non è possibile svolgere alcuna considerazione per la presenza del fattore vento, in grado di mascherare eventuali altri fattori. Giornata non accorpabile alla fase con Crisi di Smog.

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

NOVEMBRE 2009

Centralina NA05 – Scuola Elementare Vanvitelli (Via Luca Giordano)

ora	17 - nov Martedì	18 - nov Mercoledì	19 - nov Giovedì	20 - nov Venerdì	21 - nov Sabato	22 - nov Domenica	
1	60	59	95	86	73	53	71
2	51	56	85	74	68	54	65
3	41	56	90	75	65	40	61
4	44	54	96	77	60	38	62
5	47	62	89	73	63	34	61
6	50	63	83	89	66	34	64
7	51	61	79	107	71	46	69
8	78	73	96	127	80	57	85
9	37	61	101	129	96	58	80
10	33	87	93	147	100	56	86
11	30	108	135	147	106	56	97
12	32	84	142	131	110	66	93
13	35	75	112	168	115	63	95
14	33	78	120	150	79	50	85
15	37	64	126	119	61	38	74
16	36	66	144	121	61	43	79
17	43	80	156	126	52	56	86
18	51	84	139	121	58	64	86
19	59	86	135	101	66	65	85
20	79	99	134	99	70	53	89
21	88	104	126	103	74	44	90
22	79	110	114	103	60	36	84
23	69	103	106	98	53	36	78
24	67	96	108	91	63	40	78

Valore A	88	110	156	168	115	66
Valore B	-	-	-	-	61	62
Valore C	-	-	-	-	62	44
Valore D	51	78	112	111	74	49

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Osservazioni su Crisi di Smog del NOVEMBRE 2009

Centralina Vanvitelli

Giorno 17/11/2009: non è possibile fare alcuna considerazione in quanto giornata di transizione tra la fase di valori normali e quella caratterizzata dalla Crisi di Smog.

Giorno 18/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($106 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 20.00 e le 23.00.

Giorno 19/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($146 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 15.00 e le 18.00.

Giorno 20/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 11.00 e le 14.00.

Giorno 21/11/2009: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 15.00 e le 20.00. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 10.00 e le 13.00. Le concentrazioni sono praticamente coincidenti tra la fase di limitazione della circolazione e la fascia trioraria immediatamente successiva (61 e $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rispettivamente).

N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase caratterizzata dalla Crisi di Smog e quella con valori normali, nella quale il fattore rimescolamento indotto dal vento assume una notevole rilevanza, mascherando gli altri fattori in grado di condizionare le concentrazioni di PM_{10} .

Giorno 22/11/2009: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 10.00 e le 13.00.

N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione per la presenza del fattore vento, in grado di mascherare eventuali altri fattori. Giornata non accorpabile alla fase di smog.

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico –ambientali

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

NOVEMBRE 2009

Centralina NA08 – Ospedale Nuovo Pellegrini (Via F. M. Briganti)

ora	17- nov Martedì	18 - nov Mercoledì	19 - nov Giovedì	20 - nov Venerdì	21 - nov Sabato	22 – nov Domenica	
1	-	114	209	254	399	224	240
2	-	106	258	226	333	211	227
3	-	103	248	226	289	232	220
4	-	111	248	200	272	207	208
5	-	128	267	185	243	159	196
6	-	129	225	150	222	150	175
7	-	127	180	159	224	121	162
8	-	128	171	165	218	118	160
9	-	130	200	157	191	102	156
10	-	120	177	173	184	117	154
11	-	99	184	249	181	110	165
12	-	124	152	223	206	96	160
13	-	169	196	165	182	107	164
14	-	128	265	227	137	112	174
15	-	99	234	244	92	112	156
16	-	87	251	236	82	64	144
17	-	86	251	261	90	54	148
18	-	119	288	291	88	82	174
19	-	171	428	304	115	124	228
20	-	161	420	314	152	108	231
21	-	267	464	159	241	87	244
22	-	360	356	268	272	103	272
23	-	322	258	388	191	107	253
24	-	251	257	392	203	85	238

Valore A	-	360	464	392	399	232
Valore B	-	-	-	-	105	104
Valore C	-	-	-	-	235	96
Valore D	-	152	258	234	200	125

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Osservazioni su Crisi di Smog del NOVEMBRE 2009

Centralina Pellegrini

Giorno 17/11/2009: non è possibile fare alcuna considerazione in quanto giornata di transizione tra la fase di valori normali e quella caratterizzata dalla Crisi di Smog.

Giorno 18/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($316 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 20.00 e le 23.00.

Giorno 19/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($437 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 18.00 e le 21.00.

Giorno 20/11/2009: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($349 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 21.00 e le 24.00.

Giorno 21/11/2009: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 15.00 e le 20.00. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($340 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si verifica tra le 00.00 e le 03.00. Le concentrazioni sono nettamente inferiori ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nella fase di limitazione della circolazione (ore 15.00-20.00) che non in quella trioraria immediatamente successiva ($235 \mu\text{g}/\text{m}^3$). N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase caratterizzata dalla Crisi di Smog e quella con valori normali, nella quale il fattore rimescolamento indotto dal vento assume una notevole rilevanza, mascherando gli altri fattori in grado di condizionare le concentrazioni di PM_{10} .

Giorno 22/11/2009: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 10.00 e le 13.00.

N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione per la presenza del fattore vento, in grado di mascherare eventuali altri fattori. Giornata non accorpabile alla fase di smog.

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

FEBBRAIO 2011

Centralina NA01 – Osservatorio Astronomico di Capodimonte

ora	06 - feb Domenica	07 - feb Lunedì	08 - feb Martedì	09 - feb Mercoledì	10 - feb Giovedì	11 - feb Venerdì	
1	113,6	255,2	265,4	231,0	308,4	243,2	236,1
2	161,3	200,3	212,9	240,1	249,2	210,1	212,3
3	165,8	232,6	272,1	253,7	314,3	239,8	246,4
4	211,7	263,4	408,7	272,6	342,0	236,0	289,1
5	201,9	275,0	313,1	298,9	339,1	194,4	270,4
6	166,7	229,2	265,6	263,3	292,4	180,2	232,9
7	169,7	220,9	336,5	269,1	310,4	157,0	243,9
8	147,6	226,4	294,5	317,7	314,3	158,3	243,1
9	135,3	219,9	330,0	326,7	299,3	228,3	256,6
10	116,5	214,5	269,2	334,8	275,8	269,0	246,6
11	189,3	259,5	334,5	298,7	256,5	243,2	263,6
12	182,1	229,3	362,0	290,8	233,6	153,6	241,9
13	153,9	216,2	328,4	246,0	213,0	98,6	209,4
14	141,0	217,4	267,3	205,8	169,3	57,6	176,4
15	137,6	182,3	227,9	204,1	179,7	63,7	165,9
16	83,7	138,3	204,9	205,0	182,9	121,4	156,0
17	84,8	151,2	210,9	249,9	163,8	76,4	156,2
18	128,2	160,3	237,2	286,7	168,5	67,9	174,8
19	190,0	185,5	290,6	299,7	161,6	57,6	197,5
20	158,6	230,3	266,1	288,9	156,9	60,6	193,6
21	191,0	246,3	245,6	340,1	135,3	66,9	204,2
22	209,0	264,5	266,1	352,0	183,6	44,4	219,9
23	158,4	250,8	300,4	389,2	157,6	60,6	219,5
24	282,9	254,3	247,9	335,2	251,4	58,5	238,4

Valore A	282,9	275,0	408,7	389,2	342,0	269,0
Valore B	-	230,1	-	319,5	223,3	139,8
Valore C	-	221,0	-	247,5	151,3	61,7
Valore D	154,8	223,0	281,8	279,7	239,3	103,7

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Osservazioni su Crisi di Smog del FEBBRAIO 2011

Centralina Capodimonte

Giorno 06/02/2011: N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase di valori normali e quella caratterizzata dalla Crisi di Smog.

Giorno 07/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 10.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio di PM_{10} ($256,5 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 21.00 e le 24.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $230,1 \mu g/m^3$ contro i $221,0 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

Giorno 08/02/2011: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($341,6 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 10.00 e le 13.00.

Giorno 09/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 10.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($360,4 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 20.00 e le 23.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $319,5 \mu g/m^3$ contro i $247,5 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

Giorno 10/02/2011: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 17.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($331,8 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 02.00 e le 05.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $223,1 \mu g/m^3$ contro i $151,3 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase caratterizzata dalla Crisi di Smog e quella con valori normali, nella quale il fattore rimescolamento indotto dal vento assume una notevole rilevanza, mascherando gli altri fattori in grado di condizionare le concentrazioni di PM_{10} .

Giorno 11/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 17.30.

N.B.: non è possibile svolgere alcuna considerazione per la presenza del fattore vento, in grado di mascherare eventuali altri fattori. Giornata non accorpabile alla fase di smog.

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

FEBBRAIO 2011

Centralina NA05 – Scuola Elementare Vanvitelli (Via Luca Giordano)

ora	06 - feb Domenica	07 - feb Lunedì	08 - feb Martedì	09 - feb Mercoledì	10 - feb Giovedì	11 - feb Venerdì	
1	104,3	172,1	175,5	210,6	171,1	159,6	165,5
2	98,1	179,2	162,7	195,3	193,4	153,3	163,7
3	90,3	171,1	151,9	192,7	209,3	145,3	160,1
4	138,6	163,0	163,5	208,0	228,9	138,1	173,4
5	131,4	171,7	163,3	210,1	237,1	133,0	174,4
6	113,6	168,8	172,3	213,2	225,0	123,3	169,4
7	97,8	151,9	196,3	219,3	232,5	120,1	169,7
8	83,6	166,8	196,2	244,8	247,2	125,1	177,3
9	88,4	181,7	197,6	263,4	222,0	101,3	175,7
10	110,3	176,9	186,8	260,6	214,1	139,7	181,4
11	121,3	136,5	195,6	260,6	212,3	171,2	182,9
12	135,4	168,1	278,1	221,9	187,9	118,8	185,0
13	128,8	184,2	272,7	179,3	146,3	73,8	164,2
14	122,2	166,1	226,0	178,1	142,7	54,0	148,2
15	101,2	119,4	171,1	163,5	147,8	59,6	127,1
16	70,2	115,8	162,0	170,6	139,4	81,5	123,3
17	78,6	114,9	159,5	193,7	127,2	56,6	121,8
18	98,3	124,2	146,7	204,9	127,2	60,9	127,0
19	122,9	148,0	207,5	202,9	128,2	57,2	144,5
20	121,7	160,0	196,7	230,3	123,5	69,9	150,4
21	133,6	143,4	200,2	227,4	131,0	49,7	147,6
22	146,7	146,8	187,3	236,5	122,5	44,1	147,3
23	163,6	156,3	195,0	256,6	109,9	59,2	156,8
24	160,0	164,8	189,6	194,7	141,5	57,4	151,3

Valore A	163,6	184,2	278,1	263,4	247,2	171,2
Valore B	-	165,5	-	257,4	174,0	94,8
Valore C	-	172,8	-	193,1	127,6	58,9
Valore D	112,4	156,1	188,7	213,9	175,9	101,5

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Osservazioni su Crisi di Smog del FEBBRAIO 2011

Centralina Vanvitelli

Giorno 06/02/2011: N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase di valori normali e quella caratterizzata dalla Crisi di Smog.

Giorno 07/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 10.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio di PM_{10} ($175,1 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 07.00 e le 10.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $165,5 \mu g/m^3$ contro i $172,8 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

Giorno 08/02/2011: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($258,9 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 11.00 e le 14.00.

Giorno 09/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 10.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($261,5 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 08.00 e le 11.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $257,4 \mu g/m^3$ contro i $193,1 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

Giorno 10/02/2011: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 17.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($233,9 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 06.00 e le 09.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $174,0 \mu g/m^3$ contro i $127,6 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase caratterizzata dalla Crisi di Smog e quella con valori normali, nella quale il fattore rimescolamento indotto dal vento assume una notevole rilevanza, mascherando gli altri fattori in grado di condizionare le concentrazioni di PM_{10} .

Giorno 11/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 17.30.

N.B.: non è possibile svolgere alcuna considerazione per la presenza del fattore vento, in grado di mascherare eventuali altri fattori. Giornata non accorpabile alla fase di smog.

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico – ambientali

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

FEBBRAIO 2011

Centralina NA08 – Ospedale Nuovo pellegrini (Via F. M. Briganti)

ora	06 - feb Domenica	07 - feb Lunedì	08 - feb Martedì	09 - feb Mercoledì	10 - feb Giovedì	11 - feb Venerdì	
1	156,2	308,8	303,1	241,9	241,3	210,5	243,8
2	169,2	311,4	222,4	203,0	224,2	205,7	223,0
3	181,9	312,8	296,9	190,3	301,0	217,6	250,6
4	183,7	345,4	454,9	231,1	293,9	236,4	291,6
5	178,0	334,9	433,3	233,4	263,4	223,3	278,6
6	153,7	328,4	399,1	223,1	200,5	191,5	250,4
7	164,4	328,0	383,4	240,2	229,6	220,0	262,1
8	190,0	316,0	326,1	246,1	255,0	338,6	280,0
9	154,8	325,1	289,8	259,4	233,5	310,0	263,6
10	127,6	196,8	227,6	242,6	205,8	199,3	201,6
11	132,8	182,1	283,8	201,0	162,0	126,7	183,2
12	129,8	185,1	330,3	194,0	152,6	89,9	182,3
13	119,2	167,8	210,8	180,4	144,6	46,9	147,1
14	101,7	170,4	175,6	122,0	112,6	11,3	117,9
15	99,5	157,7	166,2	121,2	99,9	9,5	111,5
16	58,9	122,2	148,7	130,0	107,5	46,8	105,0
17	47,9	108,8	145,3	152,8	99,7	18,8	98,4
18	64,0	116,9	169,7	214,9	110,9	11,8	117,7
19	126,7	169,8	207,0	213,0	107,0	29,0	145,3
20	215,6	210,6	253,2	180,1	114,7	28,8	170,5
21	205,0	218,7	262,2	238,3	155,9	34,8	189,3
22	283,8	249,5	307,5	331,8	166,7	19,9	230,2
23	334,2	237,0	272,9	385,4	210,2	9,7	245,4
24	323,2	278,4	248,5	340,9	273,3	12,5	246,1

Valore A	334,2	345,4	454,9	385,4	301,0	338,6
Valore B	-	255,0	-	237,3	153,1	110,0
Valore C	-	174,4	-	165,5	125,9	30,9
Valore D	155,2	238,6	272,8	217,7	188,9	129,6

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Osservazioni su Crisi di Smog del FEBBRAIO 2011

Centralina Pellegrini

Giorno 06/02/2011: N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase di valori normali e quella caratterizzata dalla Crisi di Smog.

Giorno 07/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 10.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio di PM_{10} ($336,2 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 03.00 e le 06.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $255,0 \mu g/m^3$ contro i $174,4 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

Giorno 08/02/2011: non sono in essere dispositivi di limitazione della circolazione. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($429,1 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 03.00 e le 06.00.

Giorno 09/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 10.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($352,7 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 21.00 e le 24.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $237,3 \mu g/m^3$ contro i $165,5 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

Giorno 10/02/2011: è in essere un dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 17.30. La fascia trioraria con il massimo valore medio ($286,1 \mu g/m^3$) si verifica tra le ore 02.00 e le 05.00. Il valore medio di PM_{10} nella fascia oraria di limitazione della circolazione è pari a $153,1 \mu g/m^3$ contro i $125,9 \mu g/m^3$ della fascia trioraria immediatamente seguente.

N.B.: non è possibile trarre alcuna conclusione in quanto giornata di transizione tra la fase caratterizzata dalla Crisi di Smog e quella con valori normali, nella quale il fattore rimescolamento indotto dal vento assume una notevole rilevanza, mascherando gli altri fattori in grado di condizionare le concentrazioni di PM_{10} .

Giorno 11/02/2011: è in vigore il dispositivo di limitazione della circolazione tra le ore 07.30 e le 17.30.

N.B.: non è possibile svolgere alcuna considerazione per la presenza del fattore vento, in grado di mascherare eventuali altri fattori. Giornata non accorpabile alla fase di smog.

Nel complesso traspare, quindi, una forma di modesta “sensibilità” del processo di inquinamento a queste forme di limitazione del traffico veicolare. Ad essa si aggiunge anche una forma di “memoria” alquanto limitata, tanto che, anche in quei casi in cui grazie al dispositivo sembra manifestarsi un effetto di riduzione delle concentrazioni di inquinanti, a distanza di poche ore non vi è più traccia dei benefici conseguiti (a ciò concorre anche il picco di movimento autoveicoli immediatamente successivo all’orario di termine blocco).

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Non potendo ipotizzare scenari di blocco totale delle attività produttrici di sostanze inquinanti, risulta quindi necessario ricorrere a strategie o attività di mitigazione (soprattutto di tipo preventivo) delle fasi di forte inquinamento.

MODELLO PREVISIONALE “ALFOR-NEXT”

L’individuazione dei parametri meteorologici aventi maggiore rilevanza sul fenomeno dell’inquinamento nell’area metropolitana di Napoli, ha consentito di strutturare un algoritmo previsionale che, inizializzato su dati desumibili dai modelli Global Forecast Systems, è in grado di stimare il livello di rischio di “Crisi di Smog”.

Nei periodi in cui il modello previsionale “ALFOR-NEXT” evidenzia il livello di massima attenzione, con tendenza scarsissima o nulla alla dispersione e diffusione delle sostanze inquinanti immesse in atmosfera, l’amministrazione comunale deve imporre fermi totali della circolazione veicolare ed altre iniziative volte al contenimento del carico inquinante immesso; l’azione deve essere incisiva, senza alcuna forma di moderazione suggerita dall’impopolarità dell’atto.

Nella vita a regime della “macchina inquinante” costituita dalla città di Napoli e dalle attività che in essa quotidianamente si svolgono, occorre coinvolgere attivamente i cittadini al fine di “comparteciparli” alla sfida del contenimento dei livelli di inquinamento.

Il primo passaggio da attuare è di tipo informativo. L’informazione sarà somministrata tramite un sito web istituzionale del Comune di Napoli.

Lo schema logico alla base del progetto “ALFOR-LOW-POLL.” è quello di seguito riportato:

Creazione di un sito web istituzionale contenente:

- a) un’ampia e qualificata informazione in merito alla pericolosità dell’inquinamento atmosferico sulla salute umana;
- b) i più recenti lavori di ricerca, anche in campo medico, che evidenziano la pericolosità dei prodotti derivanti dalle attività antropiche (principalmente gas di scarico auto e prodotti della combustione per riscaldamento);
- c) le informazioni relative all’andamento meteorologico e alla previsione delle concentrazioni dei principali inquinanti, in *real time*, non espressi solo come concentrazioni in µg, ma anche in termini di possibili effetti sulla salute umana;
- d) gli obblighi di legge a carico dei comuni;
- e) una sezione dove gli automobilisti residenti sul territorio della provincia di Napoli possono iscriversi, volontariamente, ad una banca dati e dal quale possono compiere

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

tutte le attività rientranti nel progetto di contenimento dell’inquinamento atmosferico a Napoli;

- f) una sezione nella quale possono essere acquisite delle promesse di astensione dall’utilizzo dell’autovettura;

Una volta iscritti al progetto “ALFOR-LOW-POLL” il cittadini aderenti dovranno dotare la loro autovettura di un sistema di tracciabilità GIS che “rileva” l’eventuale spostamento dell’auto, correlandolo alla data in cui ciò avviene.

La disponibilità ad entrare in questo circuito ha un certo valore in termini di crediti;

- a) sul sito compaiono le previsioni relative all’andamento delle condizioni meteo strettamente relazionate all’andamento dell’inquinamento atmosferico;
- b) il non mantenimento delle promesse non sarà utilizzato per fini sanzionatori, anche se dovessero essere rinvenuti casi di circolazione in giorni nei quali la stessa era vietata;
- c) ogni N°6 mesi la centralina installata sull’autovettura viene scansionata da un sistema di lettura ubicato presso ciascuna delle municipalità; ad ogni giorno di non utilizzo corrisponde un certo numero di crediti, a quei giorni nei quali si è dichiarato anticipatamente di non voler circolare in auto, corrisponde un numero di credito decisamente più elevato, secondo una tabella appositamente prestabilita;
- d) a tali promesse corrispondono dei crediti, in numero tanto maggiore quanto maggiore è la distanza temporale dalla data nella quale si dichiara che non si intende utilizzare l’autovettura e tanto maggiore se nel giorno per il quale si promette di non voler utilizzare l’autovettura è a forte rischio inquinamento;
- e) se non si mantiene fede a tali promesse saranno scalati dei crediti;
- f) i crediti acquisiti nel semestre saranno contabilizzati e ad essi corrispondono degli abbonamenti gratuiti “a scalare”, per l’utilizzazione dei mezzi pubblici del circuito “UNICO Napoli” per un numero di giorni direttamente proporzionale al n° dei crediti, con alcune soglie intermedie di premialità, da utilizzarsi nel semestre successivo.

L’obiettivo finale è quello di indurre i cittadini a non utilizzare la propria auto, anche se di nuovissima generazione e dotata, quindi, di ogni più recente tecnologia volta al contenimento delle emissioni in atmosfera.

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Conclusioni

Il lavoro svolto ha messo in evidenza alcuni tra gli aspetti che maggiormente caratterizzano e regolano il fenomeno dell’inquinamento atmosferico nell’area metropolitana di Napoli.

In primis è stato confermato il ruolo fondamentale che svolge il “fattore meteorologico”, trovando significativi livelli di correlazione tra lo stesso e l’andamento delle concentrazioni di PM_{10} .

In particolare, tale correlazione trova la sua massima espressione nelle fasi di forte inquinamento (crisi di smog) ma essa permane comunque significativa anche su archi temporali più prolungati.

I fattori che risultano avere i maggiori livelli di correlazione sono la “**quota della superficie isobarica di 850 hPa**” e la temperatura in corrispondenza di essa: valori elevati corrispondono a forte predisposizione all’incremento dei livelli di inquinamento.

Nelle due crisi di smog analizzate si è potuta riscontrare la concomitante azione di ciascuno dei fattori meteorologici presi in considerazione: è possibile affermare, quindi, che elevati valori dei geopotenziali 850 – 700 – 500 hPa ed elevate temperature alle relative quote, sono “**Condizione necessaria e sufficiente**” affinché si concretizzi una crisi di smog.

I diversi fattori, singolarmente, possono essere considerati quali elementi predisponenti, in maniera più o meno marcata, al processo di incremento delle concentrazioni degli inquinanti (**Condizione necessaria ma non sufficiente**).

Un importante sentiero di ricerca, inserito ma non approfondito nel presente lavoro di tesi, è quello che potrebbe chiarire le modalità ed i livelli di correlazione tra le Crisi di Smog e i valori assunti da specifici Indici di teleconnessione; in particolare si ipotizza un ruolo significativo degli indici AO (Arctic Oscillation) e NAO (North Atlantic Oscillation), stante il forte legame esistente tra di essi e la presenza di campi anticiclonici alle latitudini mediterranee.

Nelle dinamiche di sviluppo dell’inquinamento atmosferico a Napoli un ruolo significativo viene svolto anche dalla locale morfologia del territorio e dal contesto geografico nel quale essa si insedia. Tale morfologia fa sì che su alcune zone di Napoli possano coesistere, in regime di sovrapposizione degli effetti, diverse dinamiche di incremento degli inquinanti.

La scienza meteorologica, quindi, ci mette in condizione di prevedere con sufficiente anticipo e precisione, quali potrebbero essere i livelli di inquinamento raggiunti in una determinata area geografica: se tali prospettive delineano una fase estremamente inquinata, le competenti amministrazioni locali devono prendere dei provvedimenti volti al contenimento **preventivo** delle emissioni inquinanti e, soprattutto, fare in modo che il cittadino sia ampiamente e correttamente informato di quello che sta accadendo o che accadrà all’aria che respira.

La meteorologia può, e deve, quindi, essere considerata una Scienza “socialmente utile” in quanto è l’unica che consente di intervenire chirurgicamente sulle fasi di massimo inquinamento, senza il ricorso a poco efficaci, e scientificamente infondate, limitazioni del traffico veicolare.

BIBLIOGRAFIA

Ordine alfabetico

Abbey DE, Nishino N., McDonnell WF., Burchette R.J., Knutsen S.F., Beeson W.L., Yang JX. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 373-382

Albanese S., De Luca M. L., De Vivo B., Lima A. and Grezzi G., 2008. Relationships between heavy metals distribution and cancer mortality rates in the Campania Region, Italy. **In:** *Environmental Geochemistry: Site characterization, Data analysis and Case histories* (De Vivo B., Belkin H. E. and Lima A., Eds). Elsevier, Amsterdam, 387-400. ISBN: 978-0-444-53159-9. Doi: 10.1016/B978-0-444-53159-9-00016-4

Albanese S., De Vivo B., Lima A., Cicchella D., Civitillo D., Cosenza A., 2010. Geochemical baselines and risk assessment of the Bagnoli brownfield side coastal sea sediments (Naples-Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, 105:19-33

Albanese S., Breward N.. 2011. Sources of anthropogenic contaminants in the urban environment. **In:** Johnson CC, Demetriades A., Locutura J., Ottensen RT (eds). *Mapping the chemical Environment of*. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp116-127.

Barbone F., Bovenzi M., Cavalleri F., Stanta G. . Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy. *Am J Epidemiol* 1995, 141 (12): 1161-1169

Beelen R., Hoek G., van der Brandt P., Goldbohm R.A., Fisher P., Shouten Lj, Jerret M., Hughes E., Armstrong B., Brunekreef B.. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-Air Study). *Environ Health Perspect* 2008; 116: 196-202

Buell P., Dunn J.E., Breslow L.. Cancer of the lung and Los Angeles-type air pollution. *Cancer* 1967; 20: 2139-2147

Chiu HF, Cheng MH, Tsai SS, Wu TN, Kuo HW, Yang CY. Outdoor air pollution and female lung cancer in Taiwan. *Inhalation Toxicol* 2006; 18(13): 1025-1031

Cicchella D., De Vivo B. and Lima A., 2003. Palladium and platinum concentration in soils from the Napoli metropolitan area, Italy: possible effects of catalytic exhausts. *The Science of Total Environment*, 308(1-3): 121-131.

Cicchella D., De Vivo B. and Lima A., 2005. Background and baseline concentration values of elements harmful to human health in the volcanic soils of the metropolitan and provincial areas of Napoli (Italy). *GEOCHEMISTRY: Exploration-Environment-Analysis*, 5: 29-40.

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Cicchella D., Albanese S., De Vivo B. and Lima A., 2008. Urban geochemical mapping in Campania region (Italy). *GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis*. 8 (1): 19-29.

Cicchella D., De Vivo B., Lima A., Albanese S., Mc Gill R. A. R. e Parrish R. R., 2008a. Heavy metal pollution and Pb isotopes in urban soils of Napoli, Italy. *GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis*. 8 (1): 103-112.

Cicchella D., Fedele L., De Vivo B., Albanese S. e Lima A., 2008b. Platinum group elements distribution in the soils from urban areas: a case study in Italy. *GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis*. 8 (1): 31-40.

Crosignani P, Borgini A, Cadum E, Mirabelli D, Porro E. New directions: air pollution-how many victims? *Atmospheric Environment* 2002; 36: 4705–4706

Degobert P., *Automobile et Pollution*, Paris, Edition Technique, 1992, pp 516.

De Vivo B., Cicchella D., Lima A. e Albanese S., 2006. Atlante geochimico-ambientale dei suoli dell'area urbana e della provincia di Napoli. Aracne Editrice, Roma. ISBN 88-548-0563-7, 324 p.

Dockery DW, Pope III CA, Xu X, Spengler J.D., Ware J.H., Fay ME, Ferris B.G., Speizer F.E.. An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med* 1993; 329: 1753-1759.

Filleul L., Rondeau V., Vandentorren S., Le Moual N., Cantagrel A, Annesi-Maesano I, Charpin D., Declercq C, Neukrich F, Paris C, Vervloet D, Brochard P, Tessier J-F, Kauffmann F, Baldi I. Twenty fine year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *Occup Environ Med* 2005; 62: 453-460

Giaccio L., Cicchella D., Lombardi G., De Rosa M. e De Vivo B.,. Does heavy metals pollution affects semen quality in men? A case of study in the metropolitan area of Naples (Italy). *J. Geochem. Explor.*, 112, 218-225. Doi: 10.1016/j.gexplo.2011.08.009, 2012

Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality. Extended follow-up of the Harvard Six Cities Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 173: 667-672

Martuzzi M., Mitis F., Iavarone I., Serinelli M.. Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. 2006 WHO regional office for Europe, Copenhagen, Denmark

Mazzarella A., Giuliaci A.: On the dominance of 28-month cycle in the equatorial-stratospheric Quasi Biennial Oscillation, *The Open Atmospheric Science Journal.*, 4, 53-56, 2010.

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Mazzarella A., Giuliacci A., Liritzis I.: On the 60-month cycle of Multivariate ENSO Index, Theor. Appl. Climatol., 100, 23-27, DOI: 10.1007/s00704-009-0159-0, 2010.

Mazzarella A., Giuliacci A., Pregliasco F.: Hypothesis on a possible role of El Niño in the occurrence of influenza pandemics, Theor. Appl. Climatol., DOI 10.1007/s00704-010-0375-7, 105, 65-69, 2011.

Mazzarella A., Scafetta N.: Evidences for a quasi 60-year North Atlantic Oscillation since 1700 and its meaning for global climate change, Theor. Appl. Climatol., DOI: 10.1007/s00704-011-0499-4, 107, 599-609, 2012.

Mazzarella A., Giuliacci A., Scafetta N.: Quantifying the Multivariate ENSO Index (MEI) coupling to CO₂ concentration and to length of day variations, Theor. Appl. Climatol., DOI: 10.1007/s00704-012-0696-9.

Mazzarella, A. ,2013. Time-integrated North Atlantic Oscillation as a proxy for climatic change. Natural Science, 5, 149-155. DOI: 10.4236/ns.2013.51A023.

Nafstad P, Haeim LL, Oftedal B, Gram F, Heolme I, Hjermann I, Loren P. Lung cancer and air pollution: a 27 year follow-up of 16209 Norwegian me. Thorax 2003; 58: 1071-1076

Naess O, Nafstad P, Amodt G, Claussen B, Rosland P. Relation between concentration of air pollution and cause specific mortality: four year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighbourhoods in Oslo, Norway. Am J Epidemiol 2006; 165: 435-443

Nyberg F, Gustavsson P, Jarup L, Bellander T, Berglund N, Jakobson R, Pershagen G. Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. Epidemiology 2000; 11: 487-495.

Palacios MA, Moldovan M., Gomez MM, The automobile catalyst as an important source of PGE in the environment. In: Alt F., Zereim F Editors. Anthropogenic Platinum Group Elements and their impact on man and the environment. Berlin, Germany: Spriger, 2000- p.3-14.

Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002; 287: 1132-1141

Tarzia M., De Vivo B., Somma R., Ayuso R. A., Mc Gill R. A. R. and Parrish R. R., 2002. Anthropogenic vs. natural pollution: an environmental study of an industrial site under remediation (Naples, Italy). GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis, 2: 45-56.

Vena J. Air pollution as a risk factor in lung cancer. Am J Epidemiol 1982; 116: 42-56

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Vineis P, Hoek G, Kryzanowski M, Vigna-Taglianti F, Veglia F, Aioldi L, et al. Air pollution and risk of lung cancer in a prospective study in Europe. *Int J Cancer* 2006; 119: 169-174

Zannetti P. Air pollution modeling: Theories, computational methods, and available software, Computational Mechanics Publications, 1990 (Southampton and Boston and New York), p.444.

Ordine Cronologico

Anno 1982

Vena J. Air pollution as a risk factor in lung cancer. *Am J Epidemiol* 1982; 116: 42-56

Anno 1990

Zannetti P. Air pollution modeling: Theories, computational methods, and available software, Computational Mechanics Publications, 1990 (Southampton and Boston and New York), p.444.

Anno 1992

Degobert P., Automobile et Pollution, Paris, Edition Technique, 1992, pp 516.

Anno 1993

Dockery DW, Pope III CA, Xu X, Spengler J.D., Ware J.H., Fay ME, Ferris B.G., Speizer F.E.. An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med* 1993; 329: 1753-1759.

Anno 1995

Barbone F., Bovenzi M., Cavalleri F., Stanta G. . Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy. *Am J Epidemiol* 1995, 141 (12): 1161-1169

Anno 1999

Abbey DE, Nishino N., McDonnell WF., Burchette R.J., Knutsen S.F., Beeson W.L., Yang JX. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 373-382

Anno 2000

Nyberg F, Gustavsson P, Jarup L, Bellander T, Berglind N, Jakobson R, Pershagen G. Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology* 2000; 11: 487-495.

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Palacios MA, Moldovan M., Gomez MM, The automobile catalyst as an important source of PGE in the environment. In: Alt F., Zereim F Editors. Anthropogenic Platinum Group Elements and their impact on man and the environment. Berlin, Germany: Springer, 2000- p.3-14.

Anno 2002

Crosignani P, Borgini A, Cadum E, Mirabelli D, Porro E. New directions: air pollution-how many victims? Atmospheric Environment 2002; 36: 4705–4706.

Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002; 287: 1132-1141

Tarzia M., De Vivo B., Somma R., Ayuso R. A., Mc Gill R. A. R. and Parrish R. R., 2002. Anthropogenic vs. natural pollution: an environmental study of an industrial site under remediation (Naples, Italy). GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis, 2: 45-56.

Anno 2003

Cicchella D., De Vivo B. and Lima A., 2003. Palladium and platinum concentration in soils from the Napoli metropolitan area, Italy: possible effects of catalytic exhausts. The Science of Total Environment, 308(1-3): 121-131.

Nafstad P, Haeim LL, Oftedal B, Gram F, Heolme I, Hjermann I, Loren P. Lung cancer and air pollution: a 27 year follow-up of 16209 Norwegian me. Thorax 2003; 58: 1071-1076

Anno 2005

Cicchella D., De Vivo B. and Lima A., 2005. Background and baseline concentration values of elements harmful to human health in the volcanic soils of the metropolitan and provincial areas of Napoli (Italy). GEOCHEMISTRY: Exploration-Environment-Analysis, 5: 29-40.

Filleul L., Rondeau V., Vandentorren S., Le Moual N., Cantagrel A, Annesi-Maesano I, Charpin D., Declercq C, Neukrich F, Paris C, Vervloet D, Brochard P, Tessier J-F, Kauffmann F, Baldi I. Twenty five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. Occup Environ Med 2005; 62: 453-460

Anno 2006

Chiu HF, Cheng MH, Tsai SS, Wu TN, Kuo HW, Yang CY. Outdoor air pollution and female lung cancer in Taiwan. Inhalation Toxicol 2006; 18(13): 1025-1031

De Vivo B., Cicchella D., Lima A. e Albanese S., 2006. Atlante geochimico-ambientale dei suoli dell'area urbana e della provincia di Napoli. Aracne Editrice, Roma. ISBN 88-548-0563-7, 324 p.

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Martuzzi M., Mitis F., Iavarone I., Serinelli M.. Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. 2006 WHO regional office for Europe, Copenhagen, Denmark

Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality. Extended follow-up of the Harvard Six Cities Study. Am J Respir Crit Care Med 2006; 173: 667-672.

Naess O, Nafstad P, Amodt G, Claussen B, Rosland P. Relation between concentration of air pollution and cause specific mortality: four year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighbourhoods in Oslo, Norway. Am J Epidemiol 2006; 165: 435-443.

Vineis P, Hoek G, Kryzanowski M, Vigna-Taglianti F, Veglia F, Airolidi L, et al. Air pollution and risk of lung cancer in a prospective study in Europe. Int J Cancer 2006; 119: 169-174.

Anno 2008

Albanese S., De Luca M. L., De Vivo B., Lima A. and Grezzi G., 2008. Relationships between heavy metals distribution and cancer mortality rates in the Campania Region, Italy. **In:** Environmental Geochemistry: Site characterization, Data analysis and Case histories (De Vivo B., Belkin H. E. and Lima A., Eds). Elsevier, Amsterdam, 387-400. ISBN: 978-0-444-53159-9. Doi: 10.1016/B978-0-444-53159-9-00016-4.

Beelen R., Hoek G., van der Brandt P., Goldbohm R.A., Fisher P., Shouten Lj, Jerret M., Hughes E., Armstrong B., Brunekreef B.. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-Air Study). Environ Health Perspect 2008; 116: 196-202

Cicchella D., Albanese S., De Vivo B. and Lima A., 2008. Urban geochemical mapping in Campania region (Italy). GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis. 8 (1): 19-29.

Cicchella D., De Vivo B., Lima A., Albanese S., Mc Gill R. A. R. e Parrish R. R., 2008a. Heavy metal pollution and Pb isotopes in urban soils of Napoli, Italy. GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis. 8 (1): 103-112.

Cicchella D., Fedele L., De Vivo B., Albanese S. e Lima A., 2008b. Platinum group elements distribution in the soils from urban areas: a case study in Italy. GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis. 8 (1): 31-40.

Anno 2010

Albanese S., De Vivo B., Lima A., Cicchella D., Civitillo D., Cosenza A., 2010. Geochemical baselines and risk assessment of the Bagnoli brownfield side coastal sea sediments (Naples-Italy). Journal of Geochemical Exploration, 105:19-33.

Mazzarella A., Giuliacci A.: On the dominance of 28-month cycle in the equatorial-stratospheric Quasi Biennial Oscillation, The Open Atmospheric Science Journal., 4, 53-56, 2010.

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Mazzarella A., Giuliacci A., Liritzis I.: On the 60-month cycle of Multivariate ENSO Index, Theor. Appl. Climatol., 100, 23-27, DOI: 10.1007/s00704-009-0159-0, 2010.

Anno 2011

Albanese S., Breward N.. 2011. Sources of anthropogenic contaminants in the urban environment. In: Johnson CC, Demetriades A., Locutura J., Ottensen RT (eds). Mapping the chemical Environment of. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp116-127.

Mazzarella A., Giuliacci A., Pregliasco F.: Hypothesis on a possible role of El Niño in the occurrence of influenza pandemics, Theor. Appl. Climatol., DOI 10.1007/s00704-010-0375-7, 105, 65-69, 2011.

Anno 2012

Giaccio L., Cicchella D., Lombardi G., De Rosa M. e De Vivo B.,. Does heavy metals pollution affects semen quality in men? A case of study in the metropolitan area of Naples (Italy). J. Geochem. Explor., 112, 218-225. Doi: 10.1016/j.gexplo.2011.08.009, 2012.

Mazzarella A, Scafetta N.: Evidences for a quasi 60-year North Atlantic Oscillation since 1700 and its meaning for global climate change, Theor. Appl. Climatol., DOI: 10.1007/s00704-011-0499-4, 107, 599-609, 2012.

Anno 2013

Mazzarella, A. ,2013. Time-integrated North Atlantic Oscillation as a proxy for climatic change. Natural Science, 5, 149-155. DOI: 10.4236/ns.2013.51A023.

Bibliografia per argomento

Salute ed inquinamento

Abbey DE, Nishino N., McDonnell WF., Burchette R.J., Knutsen S.F., Beeson W.L., Yang JX. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. Am J Respir Crit Care Med 1999; 159: 373-382

Albanese S., De Luca M. L., De Vivo B., Lima A. and Grezzi G., 2008. Relationships between heavy metals distribution and cancer mortality rates in the Campania Region, Italy. In: Environmental Geochemistry: Site characterization, Data analysis and Case histories (De Vivo B., Belkin H. E. and Lima A., Eds). Elsevier, Amsterdam, 387-400. ISBN: 978-0-444-53159-9. Doi: 10.1016/B978-0-444-53159-9-00016-4

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Barbone F., Bovenzi M., Cavalleri F., Stanta G. . Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy. *Am J Epidemiol* 1995, 141 (12): 1161-1169

Beelen R., Hoek G., van der Brandt P., Goldbohm R.A., Fisher P., Shouten Lj, Jerret M., Hughes E., Armstrong B., Brunekreef B.. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-Air Study). *Environ Health Perspect* 2008; 116: 196-202.

Buell P., Dunn J.E., Breslow L.. Cancer of the lung and Los Angeles-type air pollution. *Cancer* 1967; 20: 2139-2147.

Chiu HF, Cheng MH, Tsai SS, Wu TN, Kuo HW, Yang CY. Outdoor air pollution and female lung cancer in Taiwan. *Inhalation Toxicol* 2006; 18(13): 1025-1031.

Crosignani P, Borgini A, Cadum E, Mirabelli D, Porro E. New directions: air pollution-how many victims? *Atmospheric Environment* 2002; 36: 4705–4706.

Dockery DW, Pope III CA, Xu X, Spengler J.D., Ware J.H., Fay ME, Ferris B.G., Speizer F.E.. An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med* 1993; 329: 1753-1759.

Filleul L., Rondeau V., Vandentorren S., Le Moual N., Cantagrel A, Annesi-Maesano I, Charpin D., Declercq C, Neukrich F, Paris C, Vervloet D, Brochard P, Tessier J-F, Kauffmann F, Baldi I. Twenty five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *Occup Environ Med* 2005; 62: 453-460.

Giaccio L., Cicchella D., Lombardi G., De Rosa M. e De Vivo B.,. Does heavy metals pollution affects semen quality in men? A case of study in the metropolitan area of Naples (Italy). *J. Geochem. Explor.*, 112, 218-225. Doi: 10.1016/j.gexplo.2011.08.009, 2012.

Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality. Extended follow-up of the Harvard Six Cities Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 173: 667-672.

Martuzzi M., Mitis F., Iavarone I., Serinelli M.. Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. 2006 WHO regional office for Europe, Copenhagen, Denmark.

Nafstad P, Haeim LL, Oftedal B, Gram F, Heolme I, Hjermann I, Loren P. Lung cancer and air pollution: a 27 year follow-up of 16209 Norwegian me. *Thorax* 2003; 58: 1071-1076.

Naess O, Nafstad P, Amodt G, Claussen B, Rosland P. Relation between concentration of air pollution and cause specific mortality: four year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighbourhoods in Oslo, Norway. *Am J Epidemiol* 2006; 165: 435-443.

Nyberg F, Gustavsson P, Jarup L, Bellander T, Berglind N, Jakobson R, Pershagen G. Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology* 2000; 11: 487-495.

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

Palacios MA, Moldovan M., Gomez MM, The automobile catalyst as an important source of PGE in the environment. In: Alt F., Zereim F Editors. Anthropogenic Platinum Group Elements and their impact on man and the environment. Berlin, Germany: Springer, 2000- p.3-14.

Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002; 287: 1132-1141.

Vena J. Air pollution as a risk factor in lung cancer. Am J Epidemiol 1982; 116: 42-56.

Vineis P, Hoek G, Kryzanowski M, Vigna-Taglianti F, Veglia F, Airolidi L, et al. Air pollution and risk of lung cancer in a prospective study in Europe. Int J Cancer 2006; 119: 169-174

Ambiente ed inquinamento

Albanese S., De Vivo B., Lima A., Cicchella D., Civitillo D., Cosenza A., 2010. Geochemical baselines and risk assessment of the Bagnoli brownfield side coastal sea sediments (Naples-Italy). Journal of Geochemical Exploration, 105:19-33.

Albanese S., Breward N.. 2011. Sources of anthropogenic contaminants in the urban environment. In: Johnson CC, Demetriades A., Locutura J., Ottensen RT (eds). Mapping the chemical Environment of. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp116-127.

Cicchella D., De Vivo B. and Lima A., 2003. Palladium and platinum concentration in soils from the Napoli metropolitan area, Italy: possible effects of catalytic exhausts. The Science of Total Environment, 308(1-3): 121-131.

Cicchella D., De Vivo B. and Lima A., 2005. Background and baseline concentration values of elements harmful to human health in the volcanic soils of the metropolitan and provincial areas of Napoli (Italy). GEOCHEMISTRY: Exploration-Environment-Analysis, 5: 29-40.

Cicchella D., Albanese S., De Vivo B. and Lima A., 2008. Urban geochemical mapping in Campania region (Italy). GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis. 8 (1): 19-29.

Cicchella D., De Vivo B., Lima A., Albanese S., Mc Gill R. A. R. e Parrish R. R., 2008a. Heavy metal pollution and Pb isotopes in urban soils of Napoli, Italy. GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis. 8 (1): 103-112.

Cicchella D., Fedele L., De Vivo B., Albanese S. e Lima A., 2008b. Platinum group elements distribution in the soils from urban areas: a case study in Italy. GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis. 8 (1): 31-40.

Degobert P., Automobile et Pollution, Paris, Edition Technique, 1992, pp 516.

Tesi di Dottorato:

“L'inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

De Vivo B., Cicchella D., Lima A. e Albanese S., 2006. Atlante geochimico-ambientale dei suoli dell'area urbana e della provincia di Napoli. Aracne Editrice, Roma. ISBN 88-548-0563-7, 324 p.

Tarzia M., De Vivo B., Somma R., Ayuso R. A., Mc Gill R. A. R. and Parrish R. R., 2002. Anthropogenic vs. natural pollution: an environmental study of an industrial site under remediation (Naples, Italy). GEOCHEMISTRY: Exploration, Environment, Analysis, 2: 45-56.

Meteorologia

Mazzarella A., Giuliacci A.: On the dominance of 28-month cycle in the equatorial-stratospheric Quasi Biennial Oscillation, The Open Atmospheric Science Journal., 4, 53-56, 2010.

Mazzarella A., Giuliacci A., Liritzis I.: On the 60-month cycle of Multivariate ENSO Index, Theor. Appl. Climatol., 100, 23-27, DOI: 10.1007/s00704-009-0159-0, 2010.

Mazzarella A., Giuliacci A., Pregliasco F.: Hypothesis on a possible role of El Niño in the occurrence of influenza pandemics, Theor. Appl. Climatol., DOI 10.1007/s00704-010-0375-7, 105, 65-69, 2011.

Mazzarella A., Scafetta N.: Evidences for a quasi 60-year North Atlantic Oscillation since 1700 and its meaning for global climate change, Theor. Appl. Climatol., DOI: 10.1007/s00704-011-0499-4, 107, 599-609, 2012.

Mazzarella A., Giuliacci A., Scafetta N.: Quantifying the Multivariate ENSO Index (MEI) coupling to CO₂ concentration and to length of day variations, Theor. Appl. Climatol., DOI: 10.1007/s00704-012-0696-9.

Mazzarella, A. ,2013. Time-integrated North Atlantic Oscillation as a proxy for climatic change. Natural Science, 5, 149-155. DOI: 10.4236/ns.2013.51A023.

Zannetti P. Air pollution modeling: Theories, computational methods, and available software, Computational Mechanics Publications, 1990 (Southampton and Boston and New York), p.444.

Sitografia

- www.campanialive.it
- www.arpacampania.it
- <http://www.guardian.co.uk/environment/gallery/2012/dec/05/60-years-great-smog-london-in-pictures#/?picture=400439580&index=6>

Dottorato di Ricerca – XXV Ciclo

Dinamica interna dei sistemi vulcanici e rischi idrogeologico –ambientali

Tesi di Dottorato:

“L’inquinamento atmosferico a Napoli: inquadramento fisico del fenomeno ed individuazione di strategie di previsione, controllo e mitigazione”

- <http://library.thinkquest.org/C003603/english/fogandmist/casestudies.shtml#2>
- www.wetterzentrale.de
- www.westwind.ch